



MARCEL BODEA
(COORDONATOR)

COMPLEXITATEA

teme logice,
ontologice și
epistemologice

II 350.778

BIBL. CENTR. UNIV.
„M. EMINESCU” IAȘI

II 350.778

285

Marcel BODEA (coordonator)

COMPLEXITATEA
– teme logice, ontologice și epistemologice –



Căminul nr. 11, etajul 1, sector 1
Cluj-Napoca, România

Coperta: Nicoleta Laura Ionaș

ISBN 973-686-272-0

11
16

Copyright © Marcel Bodea, 2002

Complexitate - Logica
Complexitate - Teorie - Epistemologie

Director: Mircea Trifu

Fondator: dr. T.A. Codreanu

Tehnoredactare computerizată: Czégely Erika

Tiparul executat la Casa Cărții de Știință

3400 Cluj-Napoca; B-dul Eroilor 6-8

Tel/fax: 064-431920

www.casacartii.com

e-mail: editura@casacartii.com

Marcel BODEA
(coordonator)

COMPLEXITATEA

– teme logice, ontologice și epistemologice –

299415



342966

B.C.U. IASI

Casa Cărții de Știință
Cluj-Napoca, 2002



3. OCT. 2002



COMPLEXITATE ȘI HAOS

- considerații introductive -

Trebuie precizat încă de la începutul acestor considerații preliminare că o serie de chestiuni menționate în studiul introductiv devin clare doar în lumina unora sau altora dintre studiile incluse în volumul de față. Nu s-au făcut trimiteri explicite la aceste studii deoarece această introducere nu este o prezentare tematică a articolelor ci doar a problematicii generale legate de complexitate și haos, problematică înglobată în mod specific în respectivele studii.

Începem cu o intuiție familiară. În termeni de cauză și efect, cea mai familiară caracterizare a unei catastrofe e cea a rezultatului care se naște atunci când o variație continuă a cauzelor produce o variație discontinuă, bruscă a efectelor. Și, în sensul unei formulări precis matematice, așa ceva este o catastrofă.

Continuăm cu un tablou de Dali. Ce este un tablou de Dali ? - pe o pânză, din start uniformă și monotonă, schimbări peste schimbări de forme și culori. Peste fondul spațiului-suport, se proiectează un alt spațiu, un spațiu ideal, care parametrizează proprietățile calitative ale spațiului-suport: tabloul. Punctele matematice corespunzând zonelor de continuitate ale unui suport (definit matematic) sunt «puncte regulate», iar punctele în care proprietățile calitative ale suportului se modifică brusc, adică punctele corespunzând 'formeii', sunt «puncte catastrofice». Matematic, un tablou de Dali este o catastrofă !

Forma ca morfologie, morfologia ca fenomenologie sunt abordate într-un sens tare în teoria catastrofelor: acela al *autonomiei formei în raport cu substratul*. Este, de fapt, opțiunea

ontologică mărturisită a lui René Thom, creatorul teoriei matematice a catastrofelor. Parametrii macroscopici de stare măsurabili ai sistemului sunt considerați descriptibili și relaționabili fără a fi necesară reducția lor la un nivel structural intern cu funcțiune de substrat. În acest sens, René THOM, afirma: *«Marele merit (și marele scandal!) al teoriei catastrofelor a fost de a susține că se poate elabora o teorie a accidentelor, a formelor, a lumii exterioare, independentă de un substrat, de natura sa materială.»*

Teoria catastrofelor ca teorie a formelor este în discordanță cu teoriile reduționiste, cum sunt teoriile fizicii, ale căror elemente constitutive tind în general să fie in-forme.

Putem conveni - catastrofele pot fi 'măsurate' - că, cu cât avem schimbări (salturi) mai bruște și mai numeroase, cu alte cuvinte, cu cât 'situația' e mai dramatică, cu atât e și mai complexă. În acest sens putem să facem o concesie tabloului lui Dali : este o catastrofă, dar o catastrofă complexă !

În general abordările ca formulări (etichetări) ale complexității și haosului sunt reacții tributare unei perspective 'sistemice'. Aceasta nu trebuie să surprindă întrucât gândirea modernă în general este tributară unei astfel de tendințe, se mulează pe un astfel de arhetip, este 'sistemică'. Primul contact cu un «obiect» tinde să fie, conștient sau inconștient, contactul cu un ansamblu format din elemente subînțelese în relație. Un sistem este gândit ca o unitate, iar unitatea este gândită ca totalitate. Pentru ca acest lucru să fie posibil, este, odată în plus, subînțeles, chiar dacă temporar, local sau relativ, un anumit echilibru între componente. În același timp, gândirea caută să surprindă cât mai rapid uniformități, simetrii, stabilități. Înaintea începerii oricărei 'aventuri', gândirea încearcă să închidă, să izoleze, să ordoneze. Când există dislocări, discrepanțe care 'sar în ochi' în raport cu această primă privire, tendința este de a se pune etichete: complicat, complex, haotic. Când se întâmpină rezistență, chiar la o 'privire mai atentă', etichetele devin atribute. Când, neavând încotro, privirea trebuie momentan 'înțoarsă', atributele devin obiecte, iar

etichetele concepte: haosul și complexitatea primesc în acest fel un statut aparte și ajung să impună respect!

Problemele, însă, de abia acum încep la cei pentru care orgoliul de a fi plecat privirea reprezintă o provocare. Totul (re)începe astfel cu o întrebare: trebuie privite haosul și complexitatea cu 'alți ochi'?

Să remarcăm, pe această linie, că, în primele încercări de soluționare a problemelor, tendința orientată tacit, bine camuflat, spre soluții teoretice este în spirit sistemic reduționist. Astfel, teoria 'atractorilor stranii' pornește într-o primă aproximație de la presupuziția că formele care se observă - să luăm cazul particular al unei curgeri turbulente, vârtejurile o clipă stabile, în următoarea împrăștiate - sunt, de fapt, manifestări ale altor forme, neobservabile, ale căror acțiuni și legi (regularități) rămân deocamdată necunoscute.

Dar există și alte perspective de abordare a complexității și haosului, tot pe linie 'sistemică', însă prin prisma sistemelor deschise. Aspectul esențial într-o astfel de abordare îl reprezintă tocmai caracteristica pe care 'deschiderea' sistemelor o aduce: mutarea accentului de pe sistemul propriu-zis (relația totalității cu structura) pe relația sistemului cu exteriorul său. Această «relație» poate lua forme specifice multiple. Poate fi un schimb material substanțialo-energetic, în principal în cazul sistemelor fizico-chimice, dar și al celor biologice dacă sunt abordate biofizic. Pot fi relații specifice la nivel biologic, fără a fi implicat în vreun fel suportul fizico-chimic. Pot fi, desigur pentru anumite sisteme, relații emoționale, comunicaționale, sociale etc. Trebuie neapărat menționată în acest punct, existența unei încercări, consistente, netriviiale și promițătoare prin rezultatele sale, de tratare generală a relațiilor unui sistem cu exteriorul său - ca relații de schimb - oferită de teoria informației: încercarea teoretică de a privi relațiile ca schimburi informaționale. Să remarcăm un aspect deosebit de important într-o astfel de 'abordare informațională' - cu implicații majore pentru caracterizări complet noi ale complexității și haosului - că schimbul informațional nu este «conservativ» în

sensul în care, în vreo formă sau alta, ar fi guvernat de un bilanț aditiv. Altfel spus, mai intuitiv, nu există legi de conservare (nici chiar în sens termodinamic) ale informației.

Există o gamă foarte largă de definiții și caracterizări ale complexității. Complexitatea ca și concept asociat evoluției în timp a sistemelor neliniare conduce spre asocierea mai degrabă cu procesele, decât cu obiectele. În ceea ce privește complexitatea, se poate vorbi de un aspect cantitativ dat de numărul de elemente sau de componente constitutive și de unul calitativ dat de diversitatea naturii elementelor constitutive. Complexitatea este caracterizată și prin numărul și natura relațiilor (în particular a legilor) ce guvernează un proces înțeles în cel mai larg sens al său (fenomenal, formal etc.). În acest sens, se vorbește de o complexitate structurală. În prelungirea considerațiilor de mai sus, există definiții în conformitate cu care sistemele numite *complexe* se situează la granița dintre ordine și regularitate, pe de o parte, și dezordine și iregularitate, pe de altă parte. Astfel, sistemele pot fi considerate complexe tocmai în virtutea acestei interferențe intrinseci de ordine și dezordine, interferență în care se poate identifica una dintre trăsăturile distinctive ale complexității.

Mai nou, și deloc de neglijat, complexitatea se poate defini și caracteriza în termeni specifici teoriei computaționale.

Există posibilitatea analizei complexității doar cu referire la ansamblul format din observator și sistemul observat, ansamblu considerat însă numai în cadrul unui model teoretic asociat (cadru care permite descrierea, explicația, predicția, interpretarea etc.), respingându-se o complexitate așa zis «reală» (ontologică). În acest sens, un sistem natural sau formal este cu atât mai complex cu cât este mai complexă descrierea, explicația, interpretarea, demonstrația, calcularea, [etc.] într-un cuvânt, modelarea sa. Tot în acest sens, distincția dintre determinat și nedeterminat, dintre necesar și întâmplător, dintre predictibil și impredictibil ar ține, prin urmare, nu de natura lucrurilor, ci de simplitatea sau complexitatea sistemelor naturale, relativă la limitele capacităților noastre de cunoaștere.

O sporire a gradului de analiză al complexității se obține prin introducerea unei complexități ierarhizate, a unei relații de ordine care dă măsura, în care relațiile între componente pot fi supraordonate una alteia. Problema unei comparații cantitative efective între gradele de complexitate ale sistemelor se dovedește a nu fi una ușoară.

Sunt deseori formulate criterii conform cărora întregul este mai complex decât părțile sale și chiar teza mai tare că parte din proprietățile întregului nu rezultă din proprietățile părților. Dacă pentru sisteme fizico-chimice sau sisteme formale afirmația ar fi teoretic problematică, în schimb, pentru sistemele biologice și sociale, chiar în absența formulării explicite a unor astfel de criterii, este greu și riscant de susținut că aceste sisteme nu sunt mai complexe ca atare decât elementele și relațiile din care «se compun». Problema emergenței complexității din simplitate, a ordinii din haos, ridică în primul rând întrebări existențiale ținând de condiția umană, întrebări și răspunsuri care depășesc cu mult prin importanța consecințelor lor simplul interes-cognitiv teoretic asupra acestor chestiuni. Sunt reductibile sistemele vii la legile fizicii și ale chimiei? - poate fi o întrebare de bio-fizică. Răspunsul strict științific însă -presupunând că poate fi dat - interesează un cerc mult mai larg decât cel al comunității științifice a fizicienilor și biologilor.

Abordarea relației parte-întreg se poate face prin raportare la același nivel de organizare sau la niveluri diferite. În relaționarea întregului cu părțile sale se poate opta pentru două strategii: o strategie de tip reduționist, constând în încercarea de a descrie și explica proprietățile întregului prin structuri și simetrii care se manifestă la niveluri mai elementare de organizare, și o strategie de tip holist, constând în încercarea de a descrie și explica proprietățile întregului numai prin structuri și simetrii de la același nivel de organizare.

Miza filosofică în discuție este cea a reconsiderării unor raporturi tradiționale de simetrie prin asimetrie; asimetria dintre determinat și indeterminat, ordine și haos, haos și ordine, predictibil și impredictibil, explicație și predicție etc.

În dezvoltarea 'normală' a științelor, au loc, pe de o parte, regrupări de domenii științifice clasice în discipline noi: de exemplu, «termodinamica proceselor departe de echilibru» este o disciplină fizico-matematică nouă, al cărei obiect îl reprezintă procesele fizice generale care au loc în continuuuri materiale și care are la bază 'mecanica solidelor rigide', 'mecanica fluidelor', 'termodinamica', 'teoria elasticității', 'teoria câmpului electromagnetic', 'chimia'.

Pe de altă parte, are loc o diversificare și o specializare tot mai accentuată a altor domenii tradiționale. De exemplu, «mecanica fluidelor», încă în prima parte a celei de a doua jumătăți a secolului XX avea doar două ramuri: 'mecanica fluidelor nevâscoase' și 'mecanica fluidelor vâscoase'. În prezent, domeniile de cercetare specializată înglobate de aceeași «mecanică a fluidelor» sunt numeroase: 'teoria ecuațiilor Navier-Stokes', 'turbulența', 'teoria stratului limită', 'teoria modelelor cu vârtejuri', 'teoria undelor de șoc', 'fluide nenenewtoniene', 'fluide rotitoare', 'teoria valurilor', 'stabilitate hidrodinamică', 'bifurcație hidrodinamică', 'mecanica fluidelor computațională'. Ceea ce se poate observa, și într-un caz și-n celălalt, este nevoia unui studiu științific interdisciplinar și specializat în același timp, al complexității și al haosului.

Pornind de la aceste considerații, se pot face o serie de precizări și caracterizări ale complexității și ale haosului dintr-o perspectivă metodologică. Pentru simplitatea expunerii vom conveni să înțelegem prin «obiect» atât obiectele propriu-zise, cât și stări și, respectiv, procese (transformări de stare în diverse variante) asociate sau nu unor obiecte. Vom pune în corelație complexitatea unui obiect cu limitele unei discipline științifice care îl investighează în mod legitim. Desigur că pot exista mai multe discipline care să cerceteze legitim, dar în mod specific-distinct același obiect. Fie doar o disciplină care studiază anumite proprietăți specifice legate de un obiect. Dacă obiectul respectiv și proprietățile sale pot fi descrise și explicate în cadrele oferite de disciplina respectivă, obiectul este un obiect «normal», «obișnuit» și, chiar dacă sunt întâmpinate dificultăți surmontabile, obiectul, deși «dificil», este totuși «normal». (În acest

sens, istoria științei dovedește că anumite obiecte pot fi <monstruoase> și cu toate acestea «normale». Ele constituie însă excepții pentru a căror 'regulă' se nasc, totuși, discipline noi.). Există însă obiecte care «rezistă» în timp descripțiilor și explicațiilor, metodelor consacrate de analiză în domeniul respectiv, însă fără a genera o situație de 'criză' în disciplina respectivă. Un astfel de obiect continuă să fie considerat legitim în sfera de interes a disciplinei respective dar «complex». De exemplu, pentru hidrodinamica clasică, «vârtejul» a rămas tot timpul un obiect de interes legitim, dar «complex». Studiul unor astfel de obiecte impune ori interdisciplinaritate, ori specializare. Dacă «complexitatea» persistă, «normalizarea» acestor obiecte poate impune nașterea unei noi discipline, mai mult sau mai puțin legată de vechea disciplină. În acest sens, conținutul care susține subtitlul cărții lui James GLEICK - *Chaos - Making a new science*, Viking, New-York, 1988, reprezintă un bun argument.

Există însă și alte aspecte strâns legate de dezvoltarea propriu-zisă a disciplinelor științifice. Creșterea complexității unui domeniu de cercetare - datorată unor multitudini de factori, maturizarea diverselor științe fiind un exemplu în acest sens - determină din punct de vedere teoretic - și metateoretic acolo unde este cazul, matematica fiind un exemplu de referință pentru aceasta - reconstrucții conceptuale și structurale pe niveluri superioare de abstractizare. Apar astfel noi obiective teoretice și noi criterii de sistematizare și integrare care, prin reorganizarea perspectivelor anterioare, conduc la o reconfigurare a paradigmei cognitive asociate domeniului respectiv. Astfel, o teorie matematică generală a haosului și complexității, devenită posibilă abia în a doua jumătate a secolului XX, se constituie din discipline matematice exemplare devenite adevărate modele în acest sens: «teoria haosului», «geometria fractală», «teoria catastrofelor». Să menționăm că toate aceste teorii de abordare modernă a haosului și complexității sunt mai degrabă complementare decât concurențiale, sunt teorii matematice care permit modelarea matematică în sensul de aproximare, descriere și soluționare matematică a unor chestiuni asociate specific fiecăreia în parte. Trebuie menționat că,

deși aceste teorii matematice au fost create parțial mergând înspre modelarea realității, totuși numeroase concepte construite, foarte abstracte, reclamă o dificilă corelare cu discursul de observație al științelor empirice.

Există în mod necesar în cadrul teoriilor respective creație conceptuală, nu de puține ori sub forma a numeroase invenții de termeni exotici, care, însă, de cele mai multe ori, sunt foarte precis definiți științific: de exemplu, «atractor straniu» în teoria haosului, «scara diavolului» în geometria fractală, «coada de rândunică» în teoria catastrofelor etc. Impresiile produse asupra unui public neavizat pot genera de cele mai multe ori confuzie, iar încercările de a le aduce la nivelul familiarității unei înțelegeri comune pot lăsa impresia unor discipline ezoterice aplecate asupra naturii, impresie asemănătoare cu cea pe care alchimia o lăsa celor neavizați, pe vremuri. O afirmație de felul: 'o curgere turbulentă antrenează o contracție a spațiului fazelor și în consecință convergența către un atractor' rămâne lipsită de semnificație - chiar dacă fiecare 'știe' din experiența curentă ce este o curgere turbulentă - în absența unei analize de detaliu (nu neapărat tehnice) care să ajute intuiția (prin elemente științifice simple, analogii etc.) să-și reprezinte fenomenul.

Dincolo de aceste dificultăți de aderare la familiaritățile simțului comun, se impune, pe de altă parte, remarca, mult mai importantă, că în măsura în care o știință, să luăm fizica pentru simplitate, modelează complexitatea sau haosul utilizând ca instrumente de descriere «teoria matematică a haosului» sau «geometria fractală», 'imagea fizică' a haosului și complexității este tributară 'imaginii matematice' (altfel spus, haosul matematic aruncă o anumită lumină asupra haosului fizic care va fi, astfel, văzut în această lumină)! Este deja trivială afirmația că posibilitatea aplicării respectivei teorii matematice la complexitatea fizică face posibilă însăși o teorie fizică a complexității. (Desigur, sunt avute în vedere discipline fizice particulare, având ca obiect anumite 'forme de complexitate' și nicidecum o teorie fizică generală a complexității și/sau a haosului.) Aceste aspecte țin de însăși natura matematicii.

Există «localizări» ce situează complexitatea și haosul (desigur 'o anumită complexitate' și 'un anumit haos') pe sau între diverse frontiere. Exemple reprezentative în acest sens: în fizică, chimie, biologie, la frontiera dintre micro- și macro- cosmos; în matematică, între două dimensiuni întregi [geometria fractală] sau pe frontiera topologică (orice vecinătate a punctelor de pe frontieră conține atât puncte dintr-o zonă cât și din complementara sa) dintre o zonă permisă și o zonă interzisă [teoria catastrofelor].

(Încă o dată, desigur că nu 'întreaga complexitate' fizico-chimică respectiv biologică sau 'întreaga dezordine' matematică sunt 'închise' în astfel de 'spații'.)

Există localizări ce plasează haosul și complexitatea în 'spații', mai degrabă conceptuale, mult mai vaste: complexitatea și haosul se situează între ordinea totală și dezordinea completă. Considerăm însă că o astfel de localizare este riscantă întrucât este greu (riscant) de definit o «ordine totală» sau o «dezordine completă». Există, la fel de general - și la fel de riscant -, încercări de a caracteriza complexitatea ca unificare într-un întreg coerent a mai multor 'diferențe' considerate ca atare în individualitatea lor. Astfel de încercări, cu o notă specific filosofică, par totuși să aibă o slabă consistență, atât în conținutul lor propriu-zis, cât și în consecințele teoretice pe care le produc. Există, însă, analize teoretice și reconsiderări cu semnificație filosofică majoră - consistente și netriviale în consecințe - cum este, de exemplu, detașarea ideii determinismului de cea a predictibilității.

Există, atât în viața curentă, cât și în activitatea științifică, tendința generală ca sisteme, proprietăți, stări sau procese, apreciate ca deosebit de dezordonate sau haotice, în raport cu încercări de a le surprinde într-o anumită 'înțelegere' să fie etichetate ca și complexe. Această asociere terminologică duce la impresia de sinonimie și subînțelege în mod tacit o corespondență de conținut la nivel conceptual. Există, pe de altă parte, accepțiuni științifice tacite, ca de exemplu aceea că 'neliniaritatea' este o trăsătură caracteristică atât a haosului cât și a complexității; în acest sens o abordare ca cea matematică a neliniarității apropie haosul de complexitate.

Complexitatea și haosul nu sunt însă identice. Să menționăm câteva trăsături care deosebesc complexitatea de haos. Există numeroase sisteme complexe care, tocmai prin nivelul lor superior de organizare, nu au un comportament haotic, nu sunt, în acest sens haotice. Organismele superioare sunt considerate, în mod obișnuit, ca făcând parte din această categorie. Există, pe de altă parte, o gamă largă de sisteme simple - sub aspectul numărului de componente și al interacțiunilor - a căror evoluție poate tinde chiar pe termen scurt spre un comportament haotic. Există și numeroase exemple de sisteme complexe care, din anumite perspective, nu au un comportament predictibil.

Ceea ce trebuie însă remarcat este faptul că, deși distincte, de cele mai multe ori complexitatea și haosul sunt abordate împreună, din aceeași perspectivă. Este remarcabil faptul că pare să existe o unitate metodologică de abordare a complexității și haosului. Utilizarea unor instrumente științifice identice, în principal matematice, atât în descrierea științifică a complexității, cât și a haosului, constituie un puternic argument în acest sens. Existența unui vocabular specific comun este un alt element deloc neglijabil al unității cadrului de abordare, chiar în absența unor instrumente atât de constrângătoare cum sunt cele matematice. Există de asemenea, o presuposiție tare, de natură ontologică, conform căreia aceleași legi guvernează atât în spatele complexității cât și al haosului. Oricum, de exemplu, apelând în principiu la aceleași legi fizice, fizica descrie și explică atât complexitatea fizică, cât și haosul fizic. Asocierea mai multor discipline fizice în această întreprindere nu schimbă câtuși de puțin natura problemei. Pe de altă parte, analize generale ale complexității și haosului, cum sunt cele oferite de perspectivele ontologice și epistemologice, utilizează un aparat conceptual - cu încărcătură filosofică specifică - identic: determinism, ordine, simetrie, organizare, indeterminism, dezordine, asimetrie, etc. Din perspectiva logicii, statutul și relația ei cu complexitatea și haosul se apropie foarte mult de statutul și relația unor anumite discipline specifice matematice, cum sunt, de exemplu, teoria algoritmilor, analiza numerică, diversele teorii de tip computațional, mereologia etc.

Să observăm că, spre deosebire de «complexitate», «haosul» are asociată o teorie matematică propriu-zisă, cu o definiție matematică extrem de precisă în acest sens (deși există o diversitate de opinii sau 'consensuri de grup' ale matematicienilor asupra unei semnificații mai restrictive sau mai largi a haosului). Nu există o teorie propriu-zisă a complexității. Situația aceasta are consecințe chiar în planul de bază - de 'dicționar' - al clarificărilor analitic-conceptuale. De exemplu, într-un dicționar de anvergură lui 'THE CAMBRIDGE DICTIONARY OF PHILOSOPHY - Cambridge University Press, 1996' termenul de "complexitate" nu este menționat pe când haosului - teoriei haosului și sistemelor haotice - îi este consacrat un paragraf.

Se ridică, în mod firesc, întrebarea dacă, totuși, nu există încercări de constituire a unor discipline teoretice de natură științifică care să abordeze complexitatea măcar sub unele din aspectele sale definitorii. Astfel de încercări, cu caracter științific, există. Un exemplu în acest sens este oferit de «*sinergetică*».

Vom face în continuare - în final și nu întâmplător în final - o scurtă caracterizare a acesteia, nu înainte de a preciza că interpretările sale într-un plan mai general sunt contradictorii determinând critici venite atât dinspre comunitatea științifică, cât și dinspre cea filosofică, iar viitorul său ca veritabilă disciplină științifică rămâne, pentru moment, incert.

Sinergetica este definită ca o disciplină cu caracter științific [statutul de știință al sinergeticii fiind destul de contestat] având ca obiect principal: autoorganizarea. Autoorganizarea este abordată ca rezultat al unor interacțiuni specifice de tip 'cooperare' între microsistemele unui sistem având consecințe la scară macroscopică în forma unor structuri periodice sau stări de echilibru ale sistemului. Aspectul specific cel mai important este acela că autoorganizarea nu are loc în orice condiții, ci departe de stări de echilibru termodinamic. Sistemul deschis se poate afla departe de echilibru, fie datorită unor interacțiuni cu exteriorul, fie datorită unor cauze interne. Autoorganizarea apare brusc, la depășirea unui prag critic al unui parametru de control al sistemului, sistem care - aspect esențial precizat și mai sus - este un sistem deschis. Să

menționăm că deși sistemul macroscopic poate fi într-o stare de echilibru, starea subsistemelor sale poate fi haotică, iar depășirea unui anumit prag poate determina o convergență spre o 'cooperare' în sensul unei autoorganizări (să precizăm că este avută în vedere întreaga gamă de sisteme deschise, de la cele fizico-chimice la cele biologice și la cele sociale). Ideea științifică de bază este aceea că *pentru sistemele deschise* instabilitatea stărilor de echilibru poate avea consecința apariției unei ordini macroscopice, cu posibilitatea permanentă a unei supraordonări din ce în ce mai complexe. Deci, sistemele deschise aflate departe de echilibru pot conduce la structuri din ce în ce maiordonate, mai regulate, structuri cu un tot mai accentuat grad de complexitate (este de fapt așa-numita, într-o anumită literatură de specialitate, teorie a structurilor disipative (Prigogin-Glansdorff)). 'Structurile disipative' sunt structuri de ordine globală; ele reprezintă o auto-organizare la care participă (cooperează) un număr mare de molecule care au dat naștere unei ordini macroscopice relativ stabile, pe fundalul unei stări de neechilibru care a făcut-o posibilă. Ordinea este condiționată de mediul extern și nu de starea fizică locală a moleculelor care alcătuiesc sistemul. Structurile disipative sunt manifestări de 'ansamblu' ireductibile la comportamentul părților. Condiția importantă deci ca o ordine (superioară) să apară este ca sistemele să părăsească starea din vecinătatea echilibrului termodinamic, iar apariția și menținerea unei ordini se realizează numai prin constrângerile globale impuse de către mediul extern. Structurile disipative se opun structurilor de echilibru. În timp ce 'structurile de echilibru', odată 'constituite', nu au nevoie de un aport energetic extern pentru a se menține, 'structurile disipative', odată 'create', sunt stabilizate doar de către fluxul energetic schimbat cu 'mediul extern'.

În acest fel, pe fondul acelorasi legi fizice pot exista evoluții termodinamice diferite, în principal în funcție de apropierea sau depărtarea de echilibru și în funcție de acțiunea exteriorului (de unde se vede condiția absolut necesară ca sistemele să fie deschise). Să exemplificăm, pentru forța sugestivă, aceste chestiuni cu un citat din Ilya Prigogine: «Unul din aspectele cele mai interesante ale

structurilor disipative este coerența sistemului în ansamblul său. După primele bifurcații, sistemul pare să se comporte ca un tot, ca și când ar fi sediul unor forțe capabile să inducă ordine la distanță; populația moleculelor ale căror interacțiuni individuale nu depășesc o distanță de 10^{-8} cm se structurează ca și când fiecare moleculă ar fi <informată> asupra stării de ansamblu a sistemului.»

Să observăm pe de o parte că ordinea apare spontan și că nu se poate vorbi de sensul tare al unei predeterminări a ordinii. Să observăm, în prelungire, pe de altă parte, două aspecte importante: unul oarecum 'ontologic', în sensul că există excepții, există sisteme și situații fizice care nu urmează regula și unul oarecum 'epistemplogic' în sensul că nu există o tratare teoretică, o formalizare științifică satisfăcătoare.

Teoria structurilor disipative nu este o teorie matematică așa cum este teoria fractalilor, teoria catastrofelor sau teoria haosului. Ea este la bază o teorie fizico-chimică. În intenție, ea a fost prezentată aici și ca una dintre alternativele științifice naturale - la abordarea formal matematică - ale tratării complexității și haosului.

Sinergetica, în măsura în care se deosebește de teoria structurilor disipative, propune și alte mecanisme ale autoorganizării. Să menționăm că și acestea fac obiectul aceluiași critici de principiu. În plus, să mai remarcăm relativitatea încadrării multor fenomene în clasa 'autoorganizării' care face obiectul sinergeticii.

În finalul acestei scurte prezentări a sinergeticii și ca o teorie a complexității (a complexității în unele din aspectele sale specifice), să observăm diferențele totuși majore ce despart sinergetica, cel puțin deocamdată, de teoriile sau modelele ce vizează haosul în multiplele sale aspecte și ipostaze naturale.

O altă disciplină, în principal matematică, mult mai abstractă dar și mai riguroasă în abordarea unor aspecte - asociate la diferite 'tipuri' de complexitate sau atribute ale complexității - cum sunt «autocontrolul», «reglajul», «evoluția (ca dinamică a unui proces) orientată» este cibernetica. Cibernetica se bazează pe două

‘elemente definitorii’ fundamentale: *conexiunea inversă* și *transmisia de informații*.

Prezentările ar putea continua. Preferăm să încheiem aceste considerații asupra complexității și haosului cu ‘avertismentul’ sugerat de ‘încercarea sinergetică’: o permanentă stare de veghe critică în abordarea complexității și a haosului; o atitudine deloc pesimistă, câtă vreme dispunem de teorii ca «teoria haosului», «geometria fractală», «teoria catastrofelor», «teoria structurilor disipative», «teoria informației», «cibernetica».

Marcel BODEA

DETERMINISM, PREDICABILITATE, COMPLEXITATE: CAZUL HAOSULUI DETERMINIST

Mircea Flonta

Există o varietate de căi prin care evoluțiile care au loc în cunoașterea științifică prilejuiesc reconsiderări ale unor concepte și idei care reprezintă, într-o anumită epocă, tot atâtea structuri bine consolidate ale gândirii. Asemenea reconsiderări pot conduce la noi distincții conceptuale, la clasificări și revizuiți ale unor reprezentări filosofice general acceptate sau larg acceptate la un moment dat. În cele ce urmează, se va încerca punerea în evidență și discutarea unei corelații de acest gen, cu referire la evoluția științei matematice a naturii și la tema relației dintre determinism și predictibilitate. Unele considerații de natură istorică pot contribui la o mai bună delimitare și circumscriere a obiectului discuției.

Între acele reprezentări ale gândirii comune care ne apar drept naive din perspectiva gândirii științifice moderne, deși ele se sprijină pe o experiență vastă și îndelungată, una dintre cele mai familiare este distincția dintre evenimente, evoluții sau comportări despre care se spune că se desfășoară în mod necesar, potrivit unei reguli sau legi, și cele care nu au această caracteristică. Primele pot fi anticipate cu o precizie mai mică sau mai mare, celelalte nu. O primă reacție a gândirii omenești pare să fi fost aceea de a da socoteală de distincția, care ne apare ca neproblematică în orizontul vieții de fiecare zi, dintre evenimente sau evoluții care pot fi anticipate și cele față de care nu avem așteptări bine conturate („se poate întâmpla orice”) prin presupoziii de natură ontologică: unele

lucruri, procese, sunt determinate sau regulate, adică guvernate de legi și reguli, altele sunt întâmplătoare.¹ Într-o viziune antropomorfică, această distincție va fi gândită în analogie cu cea dintre acte și comportări guvernate de o necesitate implacabilă și, de aceea, pe deplin previzibile, pe de o parte, și capriciile unei voințe arbitrare, pe de altă parte.

Prin descoperirea legilor generale ale mișcării, legi care se aplică deopotrivă corpurilor terestre și celor cerești, știința matematică modernă a naturii a oferit experiențe și a făcut posibile reflecții care au condus la reconsiderarea unor reprezentări filosofice, precum și la un punct de vedere nou asupra temeiurilor distincției familiare dintre ceea ce este necesar, logic și ceea ce este întâmplător, contingent.

Determinism și predictibilitate: punctul de vedere clasic

Cum ar putea fi caracterizată această reconsiderare? Pare important de subliniat că reflecția asupra realizărilor științei galileano-newtoniene nu a pus în discuție, de fapt, distincția ca atare, o distincție susținută de o experiență cuprinzătoare a multor generații. Căci cine ar fi putut contesta deosebirea frapantă dintre mișcărilor sferelor pe firmament și evoluțiile vremii, dintre regularitatea și predictibilitatea primelor și iregularitatea și impredictibilitatea celor din urmă?² Obiectul contestării și reconsiderării a fost reprezentarea comună că posibilitatea de a anticipa în mod univoc și adesea cu o remarcabilă precizie anumite evenimente și evoluții din natură, în contrast cu altele, este manifestarea unei distincții ce ține de natura lucrurilor, distincția între evenimente și evoluții guvernate de legi și cele numite „accidentale”. De ce nu putem prezice pe termen lung, chiar și pe arii restrânse, evoluția vremii, așa cum putem prezice (sau postzice) mișcarea aștilor? Răspunsul la o întrebare de acest tip exprimă bine liniile directoare ale unui nou mod de gândire. Ele ar putea fi

exprimate în felul următor:

Sistemul solar este constituit dintr-un număr mare de corpuri aflate la distanțe considerabile unele de altele. Masele și distanțele relative dintre aceste corpuri nu se schimbă în mod sensibil, nici chiar în perioade mai lungi de timp. Traectoria mișcării lor va fi determinată, practic, doar de atracția gravitațională dintre ele. Iată de ce o dată ce masele corpurilor ce compun sistemul și distanțele relative dintre ele vor fi cunoscute cu destulă precizie, legile mișcării ne vor da posibilitatea să calculăm mișcările lor pentru perioade lungi de timp, în viitor ca și în trecut, și anume cu o precizie comparabilă. Punctul de vedere care capătă contururi tot mai clare în conștiința oamenilor de știință ai epocii și răzbate uneori prin enunțuri programatice, cu semnificație filosofică, este că o asemenea performanță a devenit posibilă din câteva motive. Sistemul solar este un sistem relativ simplu (caracterizat printr-un număr mic de elemente constitutive și interacțiuni între acestea), iar caracteristicile sale de stare, care prezintă o mare stabilitate, pot fi măsurate cu precizie relativ mare. Starea atmosferei, ale cărei caracteristici determină evoluția vremii, constituie și ea, ce-i drept, un sistem fizic în care acționează legile generale ale mișcării. Mișcările moleculelor și ale altor elemente constitutive ale atmosferei care au un anumit grad de stabilitate nu vor fi, așadar, în măsură mai mică determinate de către aceste legi decât mișcările corpurilor ce compun sistemul solar. Cunoașterea legilor mișcării ne dă posibilitatea de a prezice stările viitoare ale unui sistem dinamic cu o precizie mai mare sau mai mică, în funcție de gradul de precizie al cunoștințelor noastre cu privire la parametrii ce exprimă caracteristicile sale de stare într-un anumit moment al timpului. Predicțiile și postdicțiile sunt soluții ale unor ecuații liniare, bunăoară a unor ecuații diferențiale. Principial vorbind, legile mișcării fac posibil calculul evoluției stării atmosferei, în aceeași măsură ca și calculul traiectoriilor mișcării corpurilor din care se compune sistemul solar. Ca sisteme dinamice, ambele sunt supuse acțiunii acelorași legi. Din punct de vedere practic, deosebirea dintre sistemul solar și atmosferă sunt însă enorme. Atmosfera pământului este constituită dintr-un număr uriaș de

molecule, ale căror caracteristici de stare (poziție, viteză) se modifică continuu, ca rezultat al acțiunii a numeroase forțe exterioare. Atmosfera este, așadar, un sistem de o extremă complexitate. Cunoașterea caracteristicilor de stare ale sistemului într-un moment determinat al timpului, ca rezultantă a caracteristicilor de stare și a interacțiunilor unui număr uriaș de elemente, precum și calculele necesare pentru a determina în mod univoc starea atmosferei în alte momente ale timpului ar cere capacități ce depășesc în mod considerabil nu numai posibilitățile minții omenești, asistate de instrumente tot mai puternice de măsurare și de calcul, dar și posibilitățile oricărei inteligențe finite în general. Deși *principal* predictibilă, evoluția stării unui sistem de o asemenea complexitate cum este atmosfera va fi, *practic* impredictibilă. În acest sens, și numai în acest sens, evoluțiile stării atmosferei vor fi caracterizate drept *întâmplătoare, accidentale*. Distincția dintre determinat și nedeterminat, dintre necesar și întâmplător ar ține, prin urmare, nu de natura lucrurilor, ci de simplitatea sau complexitatea relativă a sistemelor din natură, corelate cu limitele capacităților noastre de cunoaștere. Pentru inteligența omniscientă invocată de Laplace, într-un pasaj celebru și adesea citat al scrierii sale despre probabilități, o asemenea distincție nu va exista. Cunoașterea accesibilă unei asemenea inteligențe va fi perfectă. Ea va putea formula, așadar, predicții și postdicții de o precizie ideală chiar și cu privire la comportarea și evoluția celor mai complexe sisteme din univers.³

Reflecția asupra semnificației realizărilor științei matematice moderne a naturii, ale cărei baze au fost puse prin opera lui Newton, a condus, între altele, la două concluzii metodologice strâns corelate.

Prima dintre ele a fost că determinismul are un caracter universal, iar ceea ce numim *întâmplare* este doar o consecință a capacităților noastre limitate de cunoaștere. Stările succesive ale oricărui sistem dinamic sunt corelate univoc prin legi ale mișcării. În principiu, adică făcând abstracție de limitele capacităților noastre de observare, măsurare, experimentare și calcul, toate evenimentele și evoluțiile din univers pot fi în egală măsură prezise. Limitele

practice ale capacităților noastre de cunoaștere trasează, însă, o linie de demarcație între acele evenimente și evoluții care pot fi anticipate cu relativă precizie și cele a căror dominare teoretică prin predicție nu reprezintă o așteptare realistă, nici chiar în perspectiva unei perfecționări îndelungate a instrumentelor de măsurare și de calcul. Din acest punct de vedere, și numai din acest punct de vedere, va putea fi justificată distincția pe care o face gândirea comună între evenimente și evoluții *necesare* și *întâmplătoare*. Este, de fapt, distincția între ceea ce este practic calculabil și predictibil și, respectiv, incalculabil și impredictibil pentru ființe cu capacități și mijloace de cunoaștere limitate. Pentru asemenea ființe, linia de despărțire între imperiul determinării, al ordinii și cel al întâmplării, al dezordinii va fi linia ce desparte *sisteme simple* și *sisteme complexe*, într-un sens relativ al acestor termeni. Existența în univers a unor sisteme de mare complexitate face ca o varietate de evenimente și evoluții din lumea reală să rămână întâmplătoare, contingente, accidentale pentru ființe cu capacități de cunoaștere finite.

A doua concluzie metodologică a fost aceea că determinismul și predictibilitatea sunt inseparabile. Un sistem dinamic, de preferință un model ideal al unui sistem real, este un *sistem determinist* dacă legile mișcării fac posibilă stabilirea unei corelații univoce între caracteristicile de stare ale sistemului într-un anumit moment al timpului și caracteristicile sale de stare în alte momente ale timpului. Termenii *determinism* și *determinist* desemnează tocmai asemenea corelații. *Predictibilitatea* a fost socotită drept o consecință firească a *determinismului*, înțeles în acest fel. Dacă un sistem este determinist, atunci comportarea lui va putea fi prezisă cu o precizie proporțională cu gradul de precizie al cunoașterii caracteristicilor de stare ale sistemului într-un anumit moment al timpului. Presupunând că măsurarea acestor caracteristici va genera erori de o anumită mărime, acestea se vor propaga și pentru caracteristicile de stare ale sistemului în alte momente ale timpului, ca erori de aceeași mărime. Măsurători tot mai precise ale caracteristicilor de stare într-un anumit moment al timpului vor face posibile predicții tot mai precise ale

caracteristicilor de stare ale sistemului în alte momente ale timpului, presupunând, desigur, că rezultatele calculelor vor fi corecte, iar perturbațiile care modifică aceste caracteristici vor fi neglijabile sau vor putea fi măsurate cu o precizie tot mai mare. Presupunând că asemenea exigențe ar putea fi satisfăcute, rezultă că erorile în determinarea caracteristicilor de stare ale sistemului în momente succesive ale timpului nu vor crește în mod exponențial într-o perioadă cât de lungă de timp. Este clar că recunoașterea imposibilității de a formula predicții sau prognoze utile pentru sisteme de mare complexitate, adică pentru acele cazuri în care determinarea relativ precisă a caracteristicilor de stare ale sistemului într-un anumit moment al timpului va depăși considerabil posibilitățile noastre, nu aduce nici o atingere concluziei că determinismul și predictibilitatea sunt inseparabile.

Nici chiar mecanica cuantică, care, cum bine se știe, a pus într-o lumină nouă problematica determinismului și a condus la reconsiderări filosofice semnificative, nu a adus vreo atingere acestor două concluzii. În raport cu viziunea deterministă a științei clasice, noutatea fundamentală privește posibilitățile determinării caracteristicilor de stare ale unui sistem dinamic supus cercetării. În fizica clasică, care lua în considerare doar sisteme dinamice macroscopice, a fost acceptată în mod tacit premisa că precizia în determinarea caracteristicilor de stare este, în principiu, nelimitată; ea ar putea să crească cât de mult, pe măsura perfecționării instrumentelor și metodelor de măsurare. *Relațiile de nedeterminare*, care au stat la baza interpretării fizice a aparatului matematic al noii mecanici, relevă limite principiale ale posibilității precizării caracteristicilor de stare ale unui sistem cuantic. O creștere a preciziei valorilor măsurate pentru coordonatele spațiale ale unei particule poate fi obținută doar pe socoteala unei scăderi proporționale a preciziei în determinarea valorii impulsului particulei și invers. Determinarea precisă, în mod simultan, a valorilor pentru localizarea spațială și impuls este, nu în mod practic, ci în principiu, imposibilă. Werner Heisenberg, fizicianul german care a descoperit relațiile de nedeterminare, observa că în raționamentul – dacă cunoaștem cu precizie starea inițială a unui

sistem dinamic vom putea determina cu aceeași precizie caracteristicile lui de stare în alte momente ale timpului – nu concluzia, ci premisa, este greșită.⁴ Caracteristicile de stare ale unui sistem cuantic într-un anumit moment al timpului vor putea fi exprimate întotdeauna doar prin probabilități, și nu prin valori precise. Fără îndoială că și în fizica clasică mărimile ce exprimă caracteristici de stare ale unui sistem dinamic reprezintă adesea probabilități. Căci, în practică, starea unui sistem dinamic, într-un moment al timpului, nu este niciodată cunoscută cu o precizie deplină. Temeiurile limitării posibilităților determinării precise a caracteristicilor de stare ale sistemelor vor fi însă diferite: de natură practică în fizica precuantică, de natură principială în fizica cuantică.

Descoperirea existenței unor limite principiale ale posibilității determinării cu precizie a caracteristicilor de stare ale unui sistem dinamic este un rezultat a cărui relevanță filosofică ar putea fi greu subapreciată. Din punctul de vedere al relației dintre determinism și predictibilitate fizica cuantică nu a adus însă elemente noi, în măsură să conducă la reconsiderarea punctului de vedere consacrat. Ecuațiile mecanicii cuantice exprimă relații univoce între stările succesive ale unui sistem dinamic. Dacă stabilim caracteristicile de stare ale sistemului într-un anumit moment al timpului în termenii unor valori probabilistice, atunci vom putea preciza valorile ce descriu starea sistemului în alte momente ale timpului cu o probabilitate echivalentă. Principiul determinismului în formularea „Dacă cunoaștem cu o anumită probabilitate starea unui sistem dinamic în prezent, putem prezice cu aceeași probabilitate stările lui viitoare” va rămâne în picioare.

O asemenea înțelegere a relației dintre determinism și predictibilitate are implicații epistemologice semnificative. Una dintre acestea privește relația dintre explicație și predicție. Este vorba de ideea identității de structură sau simetriei dintre explicația științifică și predicție. Această idee a fost eliberată sistematic în filosofia științei de orientare empiristă⁵ și a cunoscut o formulare considerată clasică în lucrările cunoscutului filosof american de origine germană Carl G. Hempel. Hempel sublinia că legile

utilizate pentru explicarea evoluției sistemelor studiate în diferitele discipline fizice sunt testate, de obicei, prin predicțiile pe care le fac posibile. Aceleași principii sau legi sunt utilizate atât în explicație, cât și în predicție. Teoria identității structurii explicației și predicției va fi formulată de Hempel drept o conjuncție a două subteze și anume: „(i) că orice explicație adecvată este potențial o predicție... ; (ii) că, invers, orice predicție adecvată este potențial o explicație”.⁶ Doar prima subteză ne va interesa în cele ce urmează. Hempel admite, de altfel, că cea de-a doua este problematică, susținând însă că prima este „rațională” și că ar putea fi bine apărată de obiecțiile critice care au fost formulate la adresa ei.

Examinarea atentă a argumentării lui Hempel în favoarea identității structurii explicației și predicției⁷ relevă că ea se sprijină pe supoziția că explicația științifică a unui fapt sau a unei regularități va fi satisfăcătoare dacă și numai dacă ea indică corelațiile necesare și suficiente pentru producerea aceluia fapt sau a acelei regularități. Este o impresie înșelătoare, notează Hempel, că noi putem explica dispariția dinozaurilor într-o anumită perioadă a istoriei pământului, deși nu am fi putut-o prezice. Căci pentru a explica în mod satisfăcător acest eveniment pe baza principiilor teoriei evoluționiste ar fi fost necesară o mulțime imensă de cunoștințe despre particularitățile ambianței fizice și biologice în care au pierit dinozaurii. Doar presupunând că asemenea informații ar fi accesibile, principiile variației și selecției ar permite să se explice un proces cum a fost cel al dispariției dinozaurilor. Procesul ar fi putut fi tot atât de bine prezis pe baza aceluiași premise.

Hempel și alți filosofi au susținut, așadar, teza identității structurii explicației și predicției sprijinindu-se pe un concept tare, restrictiv al explicației științifice.⁸ Se știe însă că nu numai în viața de fiecare zi, ci și în știință, termenul explicație este folosit în mod curent pentru a desemna derivarea anumitor fapte și regularități din condiții necesare, dar nu și suficiente, pentru producerea lor. Premise sunt, de obicei, cunoașterea legilor și a unora dintre caracteristicile de stare ce urmează să fie explicate, inclusiv a unora dintre factorii care determină schimbarea acestor caracteristici de stare. Este sensul în care sunt formulate și acceptate în mod curent

explicații ale unor evenimente ca apariția și dispariția unor specii de plante și animale în diferite ere geologice, producerea unor recesiuni economice, războaie sau revoluții. Este sensul în care pretendem că putem oferi explicații ale unor evoluții științifice și tehnologice pe care recunoaștem, totodată, că nu le-am fi putut cîtuși de puțin anticipa.

Filosofii care au formulat și au susținut teza identității structurii explicației și predicției respingeau asemenea obiecții, bazate pe o folosire pe care o caracterizau drept mai laxă a termenului *explicație* în viața de fiecare zi și în științele care studiază sisteme de mare complexitate, drept nerelevante. Ei insistau asupra ideii că doar explicațiile ale căror premise ne permit să prezicem în aceeași măsură evenimentele sau evoluțiile ce constituie obiectul explicației vor putea fi considerate pe deplin satisfăcătoare din punct de vedere științific. Această idee a fost apărută cu multă vigoare de Karl R. Popper. Pornind de la supoziția că explicațiile date unor procese sau regularități prin principii sau legi ale fizicii teoretice constituie paradigma explicației științifice, Popper sugerează că toate acele „explicații” ale căror premise nu permit și formularea unor predicții reușite vor trebui să fie considerate suspecte din punct de vedere științific. Această apreciere se corelează în gândirea lui Popper cu elaborarea unui criteriu, pretins universal, de delimitare a teoriilor științifice în raport cu teoriile care nu sunt științifice. Științifice ar fi doar acele teorii care pot fi supuse controlului experienței prin predicțiile lor. Supoziția de la care pleacă Popper este, așadar, aceea că prestațiile predictive oferă unica posibilitate de testare concludentă a pretențiilor de cunoaștere ale unor construcții teoretice care urmăresc să explice fapte. Cu alte cuvinte, teoriile care nu formulează predicții testabile nu ar putea să-și susțină pretenția că oferă descrieri sau explicații cu valoare științifică.⁹ Popper avea în vedere, în primul rînd, teorii ca teoria psihanalitică a lui Freud sau teoria materialistă a istoriei a lui Marx. Formularea pe care a dat-o el criteriului de demarcație contestă însă valoarea științifică a tuturor teoriilor care nu posedă atributul simetriei explicației și predicției. Concluzia este că teoriile care oferă doar explicații *post*

actu nu și-ar putea susține pretenția că sunt teorii științifice. Este concluzia extremă pe care unii filosofi ai științei au derivat-o dintr-o supoziție acceptată multă vreme drept neproblematică, cea a inseparabilității determinismului și predictibilității.

Haosul determinist: preistorie, caracterizare, implicații

Este util să încercăm acum formularea cîtorva precizări, ca punct de plecare al discuției care urmează. Se face în mod curent distincția între sisteme dinamice deterministe și sisteme care nu au această caracteristică. Evoluția în timp a unui sistem dinamic, ca succesiune de stări, va fi caracterizată drept *deterministă* dacă fiecare din aceste stări va fi pe deplin determinată de o altă stare a sistemului. Descrierea unei asemenea evoluții este dată de ecuații care sunt *deterministe* în sensul că valorile variabilelor în momentul t_0 determină de-a întregul valorile acestor variabile în alte momente ale timpului. Numeroase asemenea sisteme dinamice deterministe, cum este un pendul real sau ideal, cu frecare sau fără frecare, au primit o descriere matematică în mecanica clasică. Posibilitatea descrierii evoluției sistemelor dinamice prin ecuații deterministe a fost considerată drept o condiție nu numai necesară, dar și suficientă a posibilității principiale a predicției acestei evoluții. Ceea ce înseamnă că o inteligență care ar deține o *cunoaștere perfectă*, în sensul lui Laplace, va putea prezice stările succesive ale unui sistem determinist cu o precizie egală cu cea a cunoașterii pe care o deține despre caracteristicile de stare ale sistemului într-un anumit moment al timpului. În cazurile reale, cazuri în care cunoașterea acestor caracteristici ar fi realizată doar cu o anumită marjă de eroare, predicțiile asupra evoluției sistemului pentru o perioadă cît de lungă de timp vor fi afectate de erori cu o mărime proporțională. Așa cum s-a remarcat adesea, ceea ce nu au bănuit cîtuși de puțin oamenii de știință ai secolului al XIX-lea atunci cînd planeta Neptun a fost descoperită prin calcul pomind de la perturbațiile traiectoriei planetei

Uranus, este că sisteme ale căror mișcări sunt relativ simple și sunt descrise prin ecuații deterministe ar putea avea, pe termen lung, evoluții impredictibile.

Îndoileli cu privire la inseparabilitatea determinismului și predictibilității au fost formulate pentru prima dată la începutul secolului XX de către matematicianul francez Henri Poincaré. Stabilind că unele ecuații deterministe nu au soluții, Poincaré a formulat o concluzie mai generală. Observația lui a fost că în cazul unor sisteme a căror comportare este descrisă prin ecuații deterministe, erori relativ mici în determinarea caracteristicilor de stare într-un anumit moment al timpului pot duce la erori foarte mari pentru momente ulterioare ale timpului. Așadar, deși sistemele sunt deterministe, evoluția lor într-o perioadă mai lungă de timp devine imprevizibilă.¹⁰ Astfel, supoziția curentă potrivit căreia determinismul implică în mod necesar predictibilitatea – dacă evoluția unor sisteme dinamice poate fi descrisă prin ecuații deterministe urmează că evoluția acestor sisteme va putea fi prezisă cu precizie – o supoziție socotită până atunci drept cu totul neproblematică a fost pentru prima dată pusă în discuție. Considerațiile lui Poincaré nu au atras însă în mod deosebit atenția. Mult timp semnificația lor a fost subapreciată, iar studiul caracteristicilor unor ecuații de tipul celor la care s-a referit matematicianul francez nu a stat în centrul atenției cercetătorilor.

La întrebarea de ce lucrurile au stat așa a oferit unele răspunsuri ipotetice tocmai omul de știință ale cărui cercetări au contribuit mult la readucerea în discuție, în ultimele decenii, a problemelor semnalate pentru prima dată de către Poincaré. Este vorba de matematicianul american Edward N. Lorenz. Într-o lucrare scrisă pentru un public mai larg, care conține și relatări cu caracter autobiografic, Lorenz a atras atenția în mod deosebit asupra a doi factori. Primul ar fi fost o relativă lipsă de interes pentru tratarea matematică a instabilității.¹¹ Prioritățile unor personalități științifice de frunte nu au fost multă vreme de natură să încurajeze interesul pentru acest domeniu al tinerilor cercetători în căutare de succese care asigură recunoașterea.¹² Al doilea factor, a cărui însemnătate este subliniată în mod deosebit de Lorenz, a

fost dezvoltarea rapidă a instrumentelor moderne de calcul. Lorenz aprecia în mod retrospectiv că fără aceste instrumente, care au făcut posibilă realizarea în câteva luni a unor calcule care ar fi cerut mai înainte mulți ani, el nu și-ar fi putut duce la capăt cercetările sale de pionierat asupra ecuațiilor „haotice”.¹³ Un alt protagonist al domeniului de cercetare desemnat astăzi prin expresia *haos determinist* remarcă: „În genere, tratarea matematică a sistemelor cu dependență sensibilă față de condiții inițiale nu este ușoară și aceasta poate fi explicația pentru faptul că interesul fizicienilor pentru asemenea sisteme este de dată relativ recentă.”¹⁴ Abstracție făcînd însă de diferite explicații, este un fapt că, din perspectiva modului de gîndire care domina în mediile științifice acum o sută de ani, ideea că evoluția în timp a unor sisteme dinamice deterministe nu ar putea fi prezisă numeric, cu o precizie suficientă, apărea drept stranie și greu de acceptat.

Cercetînd modelele matematice ale mișcărilor de convecție din atmosferă, Lorenz a făcut, încă în anii '60, constatarea surprinzătoare că ecuațiile care descriu comportarea unor sisteme dinamice ale căror valori inițiale sunt foarte apropiate dau, după o perioadă relativ scurtă de timp, valori mult diferite. Chiar dacă sistemele descrise prin aceste ecuații sunt deterministe, pentru perioade lungi de timp nu mai sunt posibile decît evaluări probabiliste, deoarece, oricît de apropiate ar fi valorile care redau caracteristicile de stare a două sisteme într-un anumit moment al timpului, ele se vor îndepărta rapid unele de celelalte. În acest fel, microerori în determinarea condițiilor inițiale conduc în scurt timp la macroerori apreciabile. Sistemele deterministe pe care le-a studiat Lorenz nu se deosebesc, din acest punct de vedere, de sistemele indeterminate, stohastice. Ele se comportă, după un anumit interval de timp, la fel ca și sistemele indeterminate. Evoluția unor asemenea sisteme nu este, așadar, predictibilă. Mișcările de convecție din atmosferă nu pot fi prezise cu relativă precizie nici chiar atunci cînd informațiile despre starea atmosferei într-un anumit perimetru sunt abundente, iar calculatoarele utilizate pentru prelucrarea datelor sunt foarte puternice.

Pentru a înțelege mai bine această constatare surprinzătoare

sunt utile cîteva amănunte privitoare la descoperirea lui Lorenz, o descoperire despre care se poate afirma că inaugurează cercetările care au transformat în scurt timp sistemele deterministe numite *haotice* din ceva greu de recunoscut în sisteme a căror prezentă va fi semnalată aproape peste tot. Lucrarea lui Lorenz, menționată mai sus, oferă o excelentă călăuză pentru a urmări primele etape ale dezvoltării cercetărilor asupra haosului determinist.

Tema de cercetare a lui Lorenz, în cadrul Departamentului de Meteorologie al Institutului de Tehnologie din Massachusetts, era dinamica atmosferei la scară continentală și globală. El a experimentat cu diferite modele de calcul ale evoluției stării atmosferei, pornind de la un număr relativ mic de variabile alese pentru a descrie starea ei într-un anumit moment al timpului. Încercînd să simuleze pe calculator evoluția atmosferei pe o perioadă mai lungă de timp, Lorenz a dat peste niște rezultate pe care, în primul moment, a fost tentat să le atribuie unei funcționări defectuoase a calculatorului său. Calculele care porneau de la valori inițiale foarte puțin diferite ale variabilelor care descriau starea atmosferei, duceau pentru perioade mai lungi de timp la valori care se îndepărtau rapid unele de celelalte.¹⁵ Concluzia la care a ajuns Lorenz a fost că, dacă erorile inițiale se amplifică atît de rapid în desfășurarea calculului, atunci o predicție pe termen lung a stării atmosferei va fi imposibilă. Raționamentul care conduce la această concluzie este simplu. Valorile variabilelor care descriu starea atmosferei într-un anumit moment al timpului nu pot fi stabilite fără un anumit coeficient de eroare. Or, modelarea pe calculator a evoluției în timp a sistemului pune în evidență o creștere exponențială a erorilor inițiale. Acesta este un factor, pînă atunci necunoscut, care zădărnicește orice predicție pe termen lung.

Articolul intitulat *Curgere deterministă neperiodică*, publicat în 1963 într-o revistă de meteorologie, un articol în care Lorenz comunica aceste rezultate, nu a ajuns o anumită perioadă de timp la cunoștința matematicienilor care studiau sisteme dinamice deterministe. Constatarea unor convergențe între rezultatele la care ajunsese Lorenz și cele ale unor matematicieni care studiau ecuații cu caracteristici asemănătoare a cerut de aceea mai mult timp.¹⁶

Ceea ce a urmat a fost o adevărată explozie a interesului pentru sistemele deterministe numite *haotice*, ilustrată de numeroase cercetări în științele fizice, chimice, ale pământului, în științele biologice și sociale. Preocupările pentru descrierea matematică a evoluției unor sisteme dinamice studiate inițial în mod separat în diferite ramuri ale științei, de la curgerile turbulente sau mișcările unui pendul supus acțiunii a două forțe, pînă la tonurile muzicale, au condus la concluzia că ele reprezintă remarcabile caracteristici formale comune, descrise în modele matematice. Aceste modele constituie domeniul obiectului de studiu numit *haos determinist*, un nou domeniu al matematicii aplicate. Ce are comun, de exemplu, fenomenul căderii unui creion așezat cu vîrfurile ascuțite pe un suport plat, în mai multe încercări, cu mișcarea a două bile care pleacă din două puncte foarte apropiate ale unei mese de biliard, întîlnind în mișcarea lor obstacole de formă rotundă care le modifică traiectoria? Din punctul de vedere al intuiției curente, desigur, nimic. Să le privim însă prin ochelarii pe care ni-i oferă modelele ale creșterii exponențiale a erorilor, de genul celui care a fost descoperit de către Lorenz. În acest caz, lucrurile se vor prezenta cu totul altfel.

Se pot desprinde, cu ușurință, anumite caracteristici comune. Unor deosebiri mici în stările inițiale le corespund deosebiri mari în traiectoriile mișcărilor. Creionul pe care încercăm să-l menținem în poziție verticală, sprijinit pe vîrfurile sale subțiri, va cădea, parcurgînd de fiecare dată o traiectorie cu totul diferită. Aceste traiectorii au drept puncte de plecare abateri inițiale foarte mici de la centrul de echilibru al creionului, abateri care intervin în fiecare din încercările noastre. În cazul celor două bile de biliard, care sunt puse în mișcare din poziții atît de apropiate încît cu ochiul liber nici nu le-am putea deosebi, ciocnirea cu primul obstacol are deja ca efect o îndepărtare considerabilă a traiectoriilor lor, îndepărtare care se va accentua tot mai mult într-o scurtă perioadă de timp.¹⁷ Considerînd dinamica unor asemenea sisteme, constatăm că schimbări mici în starea lor inițială (cifre puțin diferite pentru valorile care descriu starea atmosferică, abateri infime ale creionului de la starea de echilibru, deosebiri foarte mici în poziția

inițială a bilelor de biliard care se vor mișca pe o masă cu obstacole de formă rotundă) sunt urmate de abateri care cresc în mod exponențial. O asemenea comportare, care a fost constatată în cadrul unei mari varietăți de sisteme dinamice, a fost desemnată prin expresia *dependență sensibilă față de condițiile inițiale*. (O analogie familiară ne-o oferă un experiment al lui G. Willard Gibbs. Într-o sticlă ce conține 90% apă și 10% picături de cerneală care nu se dizolvă în apă, agitarea lichidului va diviza picăturile de cerneală în fragmente tot mai mici. Chiar dacă avem o cunoaștere cât de bună a poziției inițiale a picăturilor de cerneală și a mecanismului de agitare, incertitudinea cu privire la poziția fiecărui fragment de cerneală va crește continuu. Intervine aici ceea ce se numește *dependență sensibilă față de condițiile inițiale*.)

Există un acord cuprinzător cu privire la noutatea pe care o aduc cercetările întreprinse asupra acelor sisteme dinamice care se caracterizează prin dependență sensibilă față de condițiile inițiale: sisteme a căror dinamică este descrisă prin ecuații simple din punct de vedere matematic – ecuațiile deterministe – au o comportare complicată, impredictibilă. Nu există, în schimb, o definiție general acceptată a haosului determinist.¹⁸ Au fost însă identificate unele caracteristici distinctive ale acelei specii de sisteme deterministe care au fost calificate drept *haotice*.

Prima dintre ele este tocmai dependența sensibilă față de condițiile inițiale. Această caracteristică se exprimă cel mai bine în reprezentarea geometrică a traiectoriilor mișcărilor acestor sisteme în spațiul fazelor, adică într-un spațiu cu un număr n de dimensiuni. Traiectoriile mișcărilor pe termen lung sunt caracterizate prin *atractorii* acestor sisteme. Atractorii sunt mulțimi de puncte apropiate în spațiul fazelor care atrag toate traiectoriile ce pornesc din vecinătatea lor. Cu alte cuvinte, traiectoriile converg spre aceleași puncte. În cazul sistemelor dinamice deterministe care nu prezintă dependență sensibilă față de condițiile inițiale, atractorii sunt fie puncte fixe, fie mișcări periodice sau evasiperiodice ale unor puncte, care pot fi descrise prin ecuații liniare. Cercetările lui Lorenz au indicat pentru prima dată că un sistem determinist în care perturbații infime, microscopice, se amplifică rapid se caracterizează printr-un

atractor de un tip deosebit. Termenul consacrat mai târziu a fost cel de *atractor straniu* sau *atractor Lorenz*.¹⁹ Atractorul Lorenz este o reprezentare geometrică în trei dimensiuni a traiectoriilor mișcărilor de convecție din atmosferă. Mișcările sunt reprezentate printr-un număr mare de traiectorii care se cuprind unele pe altele și se intersectează uneori. Imaginea realizată pe calculator a fost comparată cu cele două aripi ale unui fluture sau cu urechea dreaptă și urechea stângă. Punctul care reprezintă starea atmosferei în convecție se mișcă pe curbele desemnate de calculator. Mișcarea începe aproape de originea zero a celor trei coordonate, se învîrte pe mai multe curbe din urechea dreaptă, apoi din urechea stângă, din nou din cea dreaptă ș.a.m.d. De îndată ce locul în care începe mișcarea punctului se deplasează foarte puțin, traiectoriile mișcării vor suferi schimbări radicale. Numărul și succesiunea rotațiilor pe care le parcurge punctul pe cele două urechi ale atractorului vor fi diferite.

Atractorul lui Lorenz nu este o descriere realistă a mișcărilor de convecție din atmosferă. El a oferit, însă, pentru prima dată o reprezentare geometrică clară a dependenței sensibile față de condiții inițiale a unui anumit tip de traiectorii deterministe. Această reprezentare idealizată a constituit, totodată, punctul de plecare și de sprijin pentru elaborarea unor reprezentări mai realiste ale mișcării atmosferei. Cercetările desfășurate independent de alți oameni de știință au arătat, apoi, că există și alte sisteme dinamice deterministe, studiate mai de mult, ale căror traiectorii pot fi caracterizate sub aspect geometric prin atractori de acest tip. Este cazul descrierii matematice a curgerii turbulente, dată pentru prima dată de Ruelle și Takens. Acești autori au descoperit, independent de Lorenz, un *atractor straniu* și au consacrat această expresie.²⁰

Atractorii stranii, ca și atractorii obișnuiți de altfel, ne oferă o reprezentare geometrică a unei ordini. Comportarea numită *haotică*, comportare proprie unor sisteme dinamice deterministe, primește o descriere matematică relativ simplă. În acest sens, termenii *haos* și *haotic* pot să fie înșelători pentru cei nepreveniți. Atractorii stranii dezvăluie o ordine în spatele unei dezordini aparent ireductibile. Traiectoriile unei mișcări cu caracteristici fizice foarte diferite sunt

modelate prin aceleași structuri formale. Rezultate de acest fel reprezintă tipul de succese ce marchează dezvoltarea științei matematice a naturii și a descrierii matematice a realității în general.

Ordinea pe care o relevă atractorii stranii este însă cu totul de alt tip decât cea descrisă de atractorii obișnuți. Așa cum am menționat deja, succesiunea și numărul de rotații pe urechea dreaptă și stângă va diferi foarte mult în funcție de deosebiri mici în poziția de plecare a punctului care realizează aceste rotații. Mișcările nu au periodicitatea sau cvasiperiodicitatea care sunt caracteristicile pentru mișcările reprezentate prin atractori obișnuți. Este o deosebire care poate fi exprimată spunând că atractorii stranii țin de domeniul matematicii sau al științei neliniare. Neliniaritatea este tocmai expresia matematică a acelei iregularități a comportării unui sistem dinamic determinist care are drept una din consecințe impredictibilitatea evoluției lui pe termen lung. Atractorii stranii exprimă, așadar, o combinație *sui generis* de ordine și iregularitate, de dezordine în comportarea anumitor sisteme dinamice. Este ceea ce distinge sistemele deterministe haotice, atât de sistemele deterministe cu atractori normali, cât și de sistemele indeterminate, stohastice.²¹ Într-o formulare sugestivă: „În fenomenele haotice ordinea deterministă generează, așadar, dezordinea întâmplării.”²²

Ca reprezentări geometrice, vizuale, ale haosului determinist, atractorii stranii pot fi distinși, după Ruelle, prin trei caracteristici. Mai întâi, ei nu sunt curbe sau suprafețe continue, nu au dimensiuni ce pot fi exprimate prin numere întregi, ci, sunt, potrivit conceptului consacrat prin lucrările matematicianului Benoit Mandelbrot, obiecte *fractale*. Fractalii sunt forme geometrice diferite de formele euclidiene, sunt forme neregulate peste tot, forme care în general au același grad de neregularitate la orice scară. Părți oricât de mici au aceeași formă ca și întregul.²³ Obiectele fractale au, la dimensiuni diferite, dacă sunt considerate fie element cu element, fie în mod statistic, proprietatea autoasemănării (*self-similarity*). În al doilea rând, mișcarea punctelor care reprezintă poziția unui sistem dinamic în spațiul fazelor se caracterizează printr-o dependență sensibilă față de condițiile inițiale. În al treilea rând, analiza frecvențelor temporale

pune în evidență, în cazul atractorilor strani, un continuu. Ca și cea de a doua caracteristică, această caracteristică este esențială pentru delimitarea sistemelor a căror dinamică este descrisă prin atractori strani în raport cu sisteme care nu sunt deterministe.

Bilanțul acestor considerații asupra particularităților distinctive ale sistemelor dinamice desemnate prin expresia *haos determinist* ar putea fi formulat după cum urmează. O subclasă cuprinzătoare a sistemelor dinamice deterministe se distinge prin aceea că evoluția lor în timp pune în evidență existența unei dependențe sensibile față de condițiile inițiale. Aceasta înseamnă că orice eroare în determinarea condițiilor inițiale va avea consecințe care nu pot fi trecute cu vederea. Este ceea ce deosebește aceste sisteme de sistemele deterministe care au fost studiate cu preferință de către știința clasică. Aici eroarea nu este importantă deoarece ea se propagă încet, neexponențial. (Măsura dependenței de condițiile inițiale o dă așa-numitul exponent Leapunov. Există o asemenea dependență, care atrage după sine impredictibilitatea traiectoriilor sistemelor dinamice, atunci când exponentul Leapunov este mai mare decât zero.) Această particularitate, ce distinge acele sisteme dinamice deterministe studiate intens în ultimul timp de cele binecunoscute mai înainte, se exprimă în caracteristicile atractorilor care descriu mișcările lor în spațiul fazelor: mișcarea nu mai este una periodică sau cvasiperiodică – o mișcare care poate fi descrisă prin ecuații liniare – ci o mișcare haotică și, în consecință, impredictibilă pentru perioade mai lungi de timp. O dată ce vor fi stabilite caracteristicile atractorilor unui sistem determinist se va putea determina dacă mișcarea lui are sau nu o dependență sensibilă față de condițiile inițiale și dacă va fi posibilă o predicție reușită a comportării sale pentru intervale mai mari de timp. Concluzia este că prezența atractorilor strani ne indică ceva fundamental în privința particularităților anumitor sisteme dinamice. În exprimarea lui Ruelle: „Există determinism și, totodată, o impredictibilitate pe termen lung.”²⁴

Tocmai acesta este aspectul asupra căruia cade accentul în scrierea lui Lorenz amintită mai sus. Lorenz propune să fie caracterizate drept *haotice*, adică aparținând domeniului *haosului*

determinist, o subclasă de sisteme dinamice deterministe a căror evoluție în timp ni se înfățișează drept întâmplătoare, deși ea nu este în realitate întâmplătoare. „Voi folosi termenul *haos* pentru a mă referi în mod colectiv la procese de acest fel – procese ce par să se desfășoare în mod întâmplător, chiar dacă comportarea lor este, de fapt, determinată de legi precise.”²⁵ Cum vom putea însă distinge sistemele deterministe de acest tip de sistemele indeterministe, stohastice, sisteme a căror comportare este descrisă prin legi probabilistice, și nu deterministe? Răspunsul lui Lorenz este că o mișcare va putea fi caracterizată în mod îndreptățit drept *haotică* dacă aparența că ea nu este guvernată de legi deterministe se va menține și atunci când influențele perturbatoare întâmplătoare care se exercită asupra ei, vor putea fi eliminate. „Putem... fi pe deplin conștienți de mișcarea lipsită de regularitate a unui fenomen, dar putem crede că această comportare rezultă din caracteristici aleatorii inerente și descoperi, abia mai târziu, că fenomenul ascultă de legi precise. Unii oameni vor plasa spargerea valurilor oceanului în această categorie. Aici, eu adopt cel mai liberal concept al haosului și includ procese cu un real caracter aleatoriu, cu condiția ca procesele să manifeste o comportare asemănătoare dacă caracteristicile aleatorii vor putea fi înlăturate.”²⁶

Acest mod de a caracteriza haosul determinist conduce la o observație instructivă. Acele idealizări care elimină perturbațiile întâmplătoare sunt importante, între altele, pentru că ne îngăduie să vedem că acțiunea unor asemenea perturbații nu este singura sursă a impredictibilității pe termen lung a evoluției unor sisteme dinamice. La întrebarea de ce mișcări care se supun unor legi deterministe pot fi greu distinse de mișcări a căror desfășurare în timp este influențată în mod hotărâtor de perturbații exterioare, răspunsul este la îndemână: evoluția sistemelor deterministe haotice este, la fel ca și evoluția sistemelor indeterministe, stohastice, o evoluție impredictibilă. Sub aspectul impredictibilității, comportarea unui sistem determinist haotic nu se deosebește de comportarea unui sistem stohastic, bunăoară de comportarea unei turme atacate de un animal de pradă, a cărei direcție de deplasare nu va putea fi prezisă. Atâta timp cât vom considera că

determinismul și predictibilitatea sunt inseparabile, va exista tendința de a aprecia imposibilitatea de a prevedea evoluția pe termen lung a unor sisteme dinamice drept un indiciu sigur al apartenenței lor la clasa sistemelor indeterminate.

Haosul determinist și complexitatea

Ce relație există între haosul determinist și complexitate? Întrebarea este legitimă. S-a subliniat, nu o dată, că și sistemele relativ simple pot să aibă atractorii stranii. Un exemplu este mișcarea unui pendul supus acțiunii a cel puțin două forțe, bunăoară forța de atracție a doi magneti. S-a scris în ultimul timp mult despre tema complexității și au fost întreprinse încercări de a defini complexitatea în diferite contexte. O caracterizare intuitivă a complexității a fost dată cu referire la elementele sau părțile constitutive ale unui sistem și la relațiile dintre ele. Elementele componente ale unui sistem sunt în același timp distincte și corelate. Un sistem va fi mai complex dacă el va fi constituit dintr-un număr mai mare de elemente, iar între aceste elemente vor exista mai multe conexiuni. Un număr mare de elemente constitutive și conexiuni slabe între aceste elemente (de pildă, un gaz format dintr-un număr mare de molecule între care există interacțiuni slabe) generează dezordine, entropie, în timp ce conexiuni puternice ale părților produc ordine, negentropie. (Paradigma sistemelor de ultimul tip este un cristal în care poziția unei molecule este pe deplin determinată de poziția moleculelor învecinate.) Complexitatea este caracterizată drept acea proprietate a sistemelor care ia naștere la interfața acestor două dimensiuni. Sistemele complexe ocupă, așadar, o poziție intermediară între sisteme stohastice, sisteme în care dezordinea este aspectul dominant, și sistemele deterministe caracterizate printr-un grad înalt de ordine, sisteme a căror evoluție poate fi descrisă prin ecuații liniare. În sensul acesta se poate susține că sistemele numite *complexe* se situează la frontiera dintre ordine și regularitate deplină, pe de o parte, și acea dezordine și iregularitate care poate

primi doar o caracterizare stohastică, probabilistică.²⁷ O asemenea caracterizare a complexității este semnificativă din punctul de vedere al relației complexității cu haosul determinist. Sisteme dinamice deterministe cu atractori stranii pot fi considerate sisteme complexe tocmai în virtutea acelei combinații *sui generis* de ordine și iregularitate în care am identificat una dintre caracteristicile lor distinctive. Haosul este apreciat, în mod îndreptățit, drept o temă în studiile asupra complexității, în primul rând deoarece sistemele deterministe a căror comportare vădește o dependență sensibilă față de condiții inițiale sunt sisteme aflate la granița dintre ordine și dezordine, dintre regularitate și iregularitate. Este o particularitate care se exprimă, între altele, în aceea că deși aceste sisteme sunt sisteme deterministe, comportarea lor nu va putea fi descrisă prin ecuații liniare. Se poate susține, prin urmare, cu bune temeiuri, că există un tip distinct de complexitate, complexitatea caracteristică pentru sistemele dinamice deterministe cu atractori stranii. Lorenz observă că se face uneori distincția între *sisteme haotice* și *sisteme complexe*, primul termen vizând în primul rând o anumită iregularitate în timp, al doilea îndeosebi iregularitatea în spațiu. Cele două tipuri de iregularități pot să fie însă inseparabile, de exemplu, în cazul curgerilor turbulente.²⁸

Evoluții deterministe impredictibile

Să revenim, acum, la întrebarea noastră centrală, cea privitoare la relevanța cercetărilor asupra sistemelor deterministe cu atractori stranii pentru relația dintre determinism și predictibilitate. Am văzut că în fizica clasică predictibilitatea a fost considerată o consecință necesară a determinismului și că fizica cuantică nu a afectat în nici un fel punctul de vedere curent asupra inseparabilității determinismului și predictibilității. Punerea în discuție, pentru prima dată, a acestui punct de vedere va putea fi apreciată drept o implicație filosofică majoră a descoperirii haosului determinist. Dacă vom caracteriza predictibilitatea evoluției unui sistem dinamic drept posibilitatea de a preciza

valorile variabilelor ce descriu caracteristicile sale de stare în diferite momente ale timpului pe baza cunoașterii valorilor acestor variabile într-un anumit moment al timpului, bineînțeles în limitele aproximațiilor impuse de către erorile de măsurare, atunci va trebui să acceptăm că sistemele dinamice deterministe cu atractori strani sunt sisteme a căror evoluție pe termen lung nu este predictibilă. Expresii precum *impredictibil*, *impredictibilitate* sunt folosite aici, desigur, cu referire la predicțiile cantitative numerice. Nu se poate contesta că modelele deterministe haotice ne oferă posibilitatea să anticipăm anumite caracteristici geometrice și, în acest sens, *calitative* ale dinamicii sistemelor. Atractorii strani sunt cea mai bună mărturie în acest sens. Chiar și în momentul în care comportarea unui sistem devine haotică, poate fi anticipată, bunăoară, viteza de curgere la care o curgere va deveni turbulentă. Faptul că unii autori utilizează pentru asemenea anticipări expresia *predicții calitative* este însă o simplă preferință terminologică.

Existența unor sisteme guvernate de legi deterministe a căror comportare pe termen lung nu este predictibilă rupe relația presupusă universală și necesară între determinism și predictibilitate. Consecința de neînlăturat a acestei constatări o constituie reconsiderarea unui punct de vedere care a fost adânc înrădăcinat în gândirea științifică. Autorii care au discutat mai recent implicațiile haosului determinist asupra “principiilor cercetării”, în primul rând unii din pionierii noului domeniu de cercetare, s-au exprimat fără nici un echivoc în acest sens. Astfel, E. N. Lorenz, după ce apreciază că dacă introducem câteva precizări suplimentare “dependența sensibilă poate servi ca o definiție acceptabilă a haosului și este cea pe care o aleg”²⁹, va conchide în cartea sa, care își propune să dea o viziune de ansamblu asupra problematicei haosului determinist: “O consecință nemijlocită a dependenței sensibile în orice sistem este imposibilitatea de a face predicții perfecte destul de departe în viitor sau chiar predicții mediocre.”³⁰ Iar D. Ruelle, referindu-se la observația făcută deja acum câteva sute de ani că ceea ce numim “cauze mici” pot să aibă efecte mari și că, prin urmare, viitorul este greu de precizat, scrie: “Ceea ce e relativ nou este că se poate arăta

că pentru unele sisteme mici schimbări ale condițiilor inițiale conduc *în mod obișnuit* la asemenea schimbări ale predicțiilor încât predicția devine, de fapt, lipsită de utilitate.”³¹ Concluzii convergente au fost trase de alți cercetători ai naturii sau filosofi care au abordat tema haosului determinist.

Filosoful Jesse Hobbs a fost unul din autorii care au analizat incidența rezultatelor cercetărilor privitoare la haosul determinist asupra înțelegerii relației dintre explicație și predicție. Cercetările consacrate sistemelor dinamice deterministe cu atractori stranii probează, afirmă el, că există o clasă distinctă de idei științifice empiric testabile care nu au forță predictivă.³² Considerațiile care sprijină această teză pot fi reconstituite după cum urmează. În abordarea relației dintre explicație și predicție, unii filosofi ai științei au pornit în mod tacit de la supoziția inseparabilității determinismului și predictibilității. Ei au distins între explicații bazate pe legi deterministe și explicații bazate pe legi probabiliste. În cazurile explicațiilor de primul tip, identitatea structurii explicației și predicției pare evidentă. Toate evoluțiile care pot fi explicate prin legi deterministe vor putea fi prezise pe baza aceluiași legi. În cazul evoluțiilor care sunt guvernate de legi probabilistice, explicația și predicția vor fi în egală măsură limitate. Ceea ce va putea fi explicat și, în aceeași măsură, prezis va fi doar o anumită repartiție statistică a evenimentelor, în acord cu legea numerelor mari. Există bune temeiuri pentru a presupune că în multe cazuri asemenea limite ale explicației și predicției își au sursa în mulțimea și instabilitatea factorilor care determină evoluția în timp a sistemelor numite *indeterministe* sau *stohastice*. Posibilitatea cunoașterii acestor factori este în mod drastic limitată, și aceasta chiar și în perspectiva unui progres considerabil al preciziei instrumentelor de măsurare și de calcul. Admițând că asemenea limite nu vor putea fi vreodată suprimate, va trebui, totodată, să fim de acord că ele nu au un caracter principial. Oricum, recunoașterea limitelor posibilității de a anticipa evoluția viitoare a unor sisteme de acest fel nu aduce nici o atingere tezei simetriei dintre explicație și predicție. Pe de altă parte, se aprecia că sistemele dinamice deterministe pun în evidență, într-un mod deosebit de convingător,

existența unei asemenea simetrii. Dacă se recunoaște însă că există în natură sisteme care sunt în același timp deterministe și cu o evoluție impredictibilă pentru intervale mai lungi de timp, atunci supoziția care susține teza identității de structură sau a simetriei dintre explicație și predicție va fi zdruncinată. Admițând că există ceea ce am putea califica drept o *explicație* a evoluției sistemelor dinamice deterministe cu atractori strani într-o perioadă mai lungă de timp, această explicație nu va putea fi socotită totodată și o predicție potențială, în sensul tezei simetriei. O explicație de acest fel, numită și explicație *ex post facto*, nu va mai putea fi caracterizată drept epistemologic suspectă sau științific necorespunzătoare.³³ Deosebit de important de reținut și de subliniat este că absența simetriei are, în cazul acesta, temeuri specifice. Recunoaștere dependenței sensibile a evoluției unor sisteme dinamice față de condițiile inițiale atrage după sine o reconsiderare cu semnificație filosofică majoră: detașarea ideii determinismului de cea a predictibilității. Iar dacă haosul determinist a fost deja identificat peste tot în univers și a primit o descriere științifică rezultă că punctul de vedere dominant în filosofia științei la mijlocul secolului al XX-lea, punctul de vedere potrivit căruia succesul predictiv sau, cel puțin, posibilitatea de a formula predicții sunt singurul indiciu demn de încredere al caracterului științific al ipotezelor noastre³⁴, ne apare ca fiind de nesusținut. Tocmai aceasta este concluzia la care ajunge și Hobbs: "Dacă sistemele haotice dau naștere în mod tipic unor explicații *ex post facto*, atunci omniprezența sistemelor haotice în natură argumentează omniprezența explicațiilor *ex post facto*, ca o parte obișnuită a practicii științifice."³⁵

Concluzia că cercetările asupra haosului determinist ar fi pus în evidență o rațiune sistematică pentru care principiile care oferă descrieri și explicații științifice unor evoluții din natură nu au o forță predictivă echivalentă a fost contestată într-o lucrare recentă a filosofului englez Peter Smith, consacrată temei haosului determinist.³⁶ Cu referire critică la punctul de vedere formulat de J. Hobbs, Smith respinge concluzia că modelele sistemelor dinamice cu atractori strani s-ar deosebi în mod radical de celelalte modele

dinamice deterministe din punctul de vedere al relației dintre explicație și predicție. Argumentarea lui se desfășoară pe două linii. Pe de o parte, Smith pune la îndoială concluzia că modelele dinamice haotice nu pot oferi predicții cantitative, subliniind că ele fac posibile asemenea predicții pe termen scurt, lucru acceptat de altfel de toată lumea. Pornind de aici, Smith formulează însă o concluzie mai generală: “Teoria haosului nu rupe simetria tradițională dintre explicație și predicție. Ca și dinamica tradițională, ea implică un amestec între cantitativ și calitativ – cel mult putem spune că proporția amestecului este diferită ...”.³⁷ O asemenea afirmație este, însă, un *understatement*. Am arătat că dependența sensibilă față de condiții inițiale este o trăsătură ce deosebește în mod esențial sistemele deterministe haotice de sistemele deterministe standard, binecunoscute și studiate în dinamică. Smith afirmă că rezultatele studiului sistemelor haotice caracterizate prin instabilitate nu ar avea o relevanță filosofică deosebită, abstracție făcând de faptul că ele ilustrează mai bine stilul explicativ al fizicii matematice, care nu ar fi fost încă descris în mod satisfăcător în literatura de filosofie a științei.³⁸ Este un punct de vedere care pare greu de susținut. Smith nu contestă imposibilitatea unor predicții pe termen lung a traiectoriilor mișcărilor haotice, recunoscând că tot ceea ce putem spune este că aceste traiectorii converg spre atractor straniu și că, oricât de bună ar fi informația noastră inițială, evoluția detaliată a traiectoriilor devine repede cu totul impredictibilă. El insistă însă asupra faptului că noi putem să anticipăm “forma tipică pe termen lung și situarea generală a traiectoriilor”, deoarece știm că ele “se îndreaptă spre atractorul straniu și cunoaștem structura acestui atractor”.³⁹ Acestea sunt însă anticipări calitative, și nu *predicții*, în sensul curent al termenului, astfel încât afirmația că “situația nu este în mod sigur lipsită de speranță din punct de vedere predictiv” pare greu de acceptat.

Pe de altă parte, Smith argumentează împotriva a ceea ce resimte drept o suprasolicitare a semnificației filosofice a cercetărilor asupra sistemelor haotice din punctul de vedere al relației dintre explicație și predicție, susținând că descrierile și explicațiile pe care

le oferă modelele sistemelor deterministe cu atractori stranii sunt de același gen ca și descrierile și explicațiile care pot fi date sistemelor stohastice. Căci, atât într-un caz, cât și în celălalt, înainte de a se produce evoluțiile care constituie obiectul explicației și al descrierii, vor putea fi formulate doar anticipări probabilistice. Nu ar exista, prin urmare, un specific al explicației în teoria haosului determinist.⁴⁰ Din dezvoltările de până acum a rezultat însă clar că între sistemele deterministe haotice și sistemele indeterminate, stohastice, există deosebiri ce nu pot fi trecute cu vederea. În cazul celor din urmă, limitele posibilității de a explica și anticipa evoluțiile viitoare sunt, în primul rând, o consecință a faptului că relația dintre stările succesive ale sistemului nu este o relație deterministă. În sistemele dinamice cu atractori stranii există tocmai o asemenea relație și cu toate acestea evoluția lor pe termen lung este impredictibilă!

Un susținător ipotetic al punctului de vedere că rezultatele cercetărilor asupra haosului determinist nu oferă temeiuri pentru a contesta teza principală a simetriei dintre explicație și predicție ar putea afirma, în replică, că modelele sistemelor dinamice haotice nu furnizează nici explicații ale evoluției acestor sisteme, așa cum nu furnizează nici predicții ale acestei evoluții pe termen lung. Pare de aceea important de stabilit dacă și în ce sens descrierea matematică a evoluției caracteristice sistemelor haotice va putea fi calificată drept o *explicație*.

În ce sens oferă modelele haosului determinist explicație și înțelegere?

Astăzi, mulți cercetători din știința matematică a naturii sunt de acord că cele mai bune ipoteze sau teorii ale domeniului satisfac minimum trei condiții. Mai întâi, ele sunt într-un bun acord cu datele observației și ale experimentului, adică satisfac condiția adecvării empirice. În al doilea rând, ele oferă o corelare sau o *explicație* a faptelor constatate empiric, o explicație într-un sens formal al termenului. Ceea ce înseamnă că aceste ipoteze și teorii

permit derivarea faptelor drept consecințe logice ale principiilor formulate de construcția teoretică. În al treilea rând, aceste ipoteze și teorii oferă *înțelegere* (*understanding*). Termenul este utilizat, de obicei, în literatura științifică și filosofică mai recentă, pentru a desemna anumite caracteristici pragmatice ale unei explicații științifice. S-au formulat diferite puncte de vedere cu privire la aceste caracteristici ale unei explicații prin care ea oferă *înțelegere*. Unii autori afirmă, de pildă, că invocarea unor relații și mecanisme cauzale este o caracteristică distinctivă a explicațiilor care oferă *înțelegere*. Este menționată distincția pe care o făcea Einstein între *teorii de principii*, ca termodinamica fenomenologică și teoria restrânsă a relativității, pe de o parte, și *teorii constructive*, de felul teoriei cinetice a gazelor, teorie în care explicația este dată în termenii unor entități inaccesibile observației, în acest caz moleculele. Primele ar fi doar explicații formale, cele din urmă oferă și *înțelegere*. Se mai menționează că o teorie poate furniza *înțelegere* și prin capacitatea ei de unificare, de reducere a numărului de fapte și regularități care au fost considerate până atunci drept independente.⁴¹

În lumina acestei distincții, o întrebare interesantă este aceea dacă modelele matematice ale haosului determinist ne oferă mai mult decât explicații în sensul formal al termenului, adică dacă ele furnizează *înțelegere*. Un răspuns pozitiv lipsit de echivoc la această întrebare este cel al autorilor care cred că pot fi date explicații cauzale satisfăcătoare evoluțiilor caracteristice pentru haosul determinist. Ei susțin că în sistemele haotice ia naștere, pe parcursul evoluției lor, informație nouă. Atractorii strani sunt surse de informație; ei creează informație nouă la fiecare bifurcație. Această informație este cea care transformă fluctuații microscopice în fluctuații macroscopice de proporții tot mai mari. Așa ar putea fi explicată dependența sensibilă față de condiții inițiale caracteristică pentru sistemele dinamice haotice.⁴² Acest punct de vedere nu este, totuși, împărtășit de mulți dintre autorii care se interesează de implicațiile filosofice ale cercetărilor asupra sistemelor deterministe cu atractorii strani.⁴³ Se mai poate susține, în acest caz, că modelele matematice ale unor asemenea sisteme oferă *înțelegere*?

Un răspuns pozitiv ar putea fi dat pe baza caracterizării *înțelegerii* în termenii capacității de unificare a unui model sau a unei teorii. O astfel de caracterizare a *înțelegerii* a fost formulată pentru prima dată de către filosoful american Michael Friedman⁴⁴ și elaborată ulterior de alți autori, îndeosebi de către Philip Kitcher. Se susține că o construcție științifică oferă *înțelegere* dacă ea descoperă corelații până atunci necunoscute între fenomene și legi care erau considerate independente. Teoria cinetică a gazelor, bunăoară, unifică legi formulate independent unele de altele, caracterizând valorile puse în relație prin aceste legi în termenii mișcărilor moleculare. În plus, teoria explică utilizând aceleași legi ale mișcării care explică mișcarea planetelor sistemului solar sau căderea corpurilor pe pământ.⁴⁵ Supoziția de la care se pornește este că *înțelegerea* pe care o oferă o explicație este sporită printr-o unificare crescândă a cunoștințelor noastre despre fapte și regularități. O explicație care oferă *înțelegere* ar reprezenta un pas înainte spre realizarea idealului unei unificări deductive depline a cunoștințelor noastre.⁴⁶ Fiecare pas în această direcție aduce cu sine o reducere a numărului structurilor pe care va trebui să le acceptăm drept structuri distincte și ireductibile.⁴⁷ Caracterizarea *înțelegerii* pe care o oferă o teorie sau un model în termenii capacităților de stabili corelații între fapte și regularități independente și de a le unifica în acest fel prezintă avantaje care nu pot fi trecute cu vederea. Mai întâi, nu mai face dependentă *înțelegerea*, drept criteriu de excelență a unei construcții științifice, de exigența deosebit de pretențioasă a producerii unei explicații prin mecanisme cauzale. În al doilea rând, așa cum subliniază Friedman, această caracterizare conferă *înțelegerii* un conținut obiectiv și general, independent de instituțiile care configurează cerințele *înțelegerii* în diferite tradiții științifice.⁴⁸

Nu este greu de arătat că modelele matematice ale sistemelor deterministe cu atractorii stranii furnizează *înțelegere*, în acest sens al termenului. Într-adevăr, capacitatea de unificare a acestor modele este impresionantă. Ea a fost subliniată în mod deosebit în literatura asupra haosului determinist. Comportarea unei mari varietăți de sisteme dinamice, sisteme care constituie obiectul de studiu al unor

discipline diferite, este descrisă prin aceleași modele matematice relativ simple. Spectrul lor se întinde de la curgeri turbulente, câmpuri magnetice, laseri, reacții chimice, până la dinamica populațiilor, bățile inimii, fiziologia creierului, economie și artă. Într-o mare varietate de sisteme dinamice intervine acea combinație caracteristică de ordine și dezordine proprie sistemelor cu atractori stranii. Puține construcții științifice au probat o putere de unificare comparabilă cu cea a modelelor haosului determinist.

Punctul de vedere că o construcție teoretică din științele despre fapte, în speță din științele fizice, care unifică fenomene și regularități considerate mai înainte drept independente unele de altele, oferă prin aceasta explicație și *înțelegere* a fost contestat în literatura recentă. Margaret Morrison argumentează într-o monografie consacrată temei unificării teoretice în știință că o teorie sau un model ne oferă explicație doar în măsura în care ne spune ceva despre “mașinăria” unui proces sau sistem, adică ne oferă răspunsuri îndeosebi la întrebări de genul “de ce?” și, mai ales, “cum?”. Din această perspectivă “unificarea nu va trebui înțeleasă ca o formă a puterii explicative, căci mecanismele care ușurează unificarea fenomenelor nu sunt adesea acelea care ne dau posibilitatea să explicăm aceste fenomene”.⁴⁹ Altfel spus, unificarea prin construcția unor noi modele și teorii nu oferă și explicație în măsura în care nu oferă un spor de *înțelegere*, adică nu răspunde unor întrebări de genul “de ce?” și “cum?” referitoare la procesele ce constituie obiectul unificării.

Formularea unui punct de vedere asupra controversei privitoare la relația dintre unificarea teoretică pe de o parte, explicația și înțelegerea proceselor din natură pe de altă parte, nu intră în obiectivele acestui studiu. Acceptând însă teza că puterea de unificare a teoriilor și modelelor științifice nu aduce o contribuție semnificativă la explicația proceselor la care se referă teoriile și modelele, în sensul *înțelegerii* acestor procese, se va pune în mod firesc întrebarea dacă modelele sistemelor dinamice deterministe cu atractori stranii mai oferă, într-un anumit sens *înțelegere*. Răspunsul va fi că modelele haosului determinist pot oferi *înțelegere* și în acest sens mai restrictiv al termenului.

Așa cum s-a arătat⁵⁰, aceste modele ne oferă răspunsul la întrebarea “cum?” deoarece dau socoteală de caracterul impredictibil al unor mișcări descrise prin ecuații matematice relativ simple. Tocmai indicându-se cum se întâmplă că sisteme simple pot avea o comportare atât de complicată, adică cum intervin limite ale predictibilității pentru mișcări ale unor sisteme simple, modelele deterministe cu atractori stranii ne oferă *înțelegere*. În măsura în care această *înțelegere* ne este dată nu prin răspunsuri la întrebări de tipul “de ce?”, ci de tipul “cum?” ea reprezintă o *înțelegere* de un anumit gen, *înțelegere* pe care am putea-o numi “geometrică”.⁵¹ Iar o *înțelegere* de acest gen va constitui o *explicație*, cel puțin în acel sens epistemic al termenului pe care Wesley Salmon îl caracterizează spunând că o explicație “arată că evenimentul ce urmează să fie explicat *era de așteptat*”.⁵²

O varietate de modele și teorii ne oferă explicații ce răspund nevoii noastre de a *înțelege* pentru procese și mișcări a căror desfășurare nu o putem prezice, cel puțin pentru o perioadă mai lungă de timp. Există diferite temeuri ale acestei lipse de simetrie între explicație și predicție, adică a faptului că în cazul unor modele construite de oameni de știință puterea explicativă și capacitatea de a formula predicții propriu-zise nu merg mână în mână.⁵³ Unul dintre acestea este dependența sensibilă față de condițiile inițiale, caracteristică sistemelor deterministe numite *haotice*.

Note

¹ Să ne gândim la deosebirea dintre succesiunea zilei și nopții, sau la succesiunea anotimpurilor, pe de o parte, și la evoluția vremii, pe de altă parte. Sau la deosebirea dintre traiectoria mișcării unui obiect greu, lăsat să cadă de la o anumită înălțime, și traiectoria unuiu foarte ușor, aflat în bătaia unui vânt puternic, care își schimbă mereu direcția. Aristotel va fi condus de o asemenea intuiție în considerațiile sale cu privire la distincția între ceea ce este *necesar* și, respectiv, *accidental* sau *contextual* (în sensul că se întâmplă sau nu se întâmplă). „Într-adevăr, ceea ce nu ar exista nici permanent, nici în majoritatea cazurilor, pe acela îl declarăm a fi *contextual*... spunem că omul este, într-un anume context, alb (căci el nu

este nici permanent, nici în majoritatea cazurilor așa), dar că dimpotrivă, el nu este, în mod contextual, animal... că nu există o știință a contextualității este limpede. Căci *orice știință are ca obiect fie ceea ce este permanent într-un anume fel, fie ceea ce este astfel în majoritatea cazurilor.*" (Aristotel, *Metafizica*, traducere de A. Cornea, București, Editura Humanitas, 2001, pp. 214-215.)

² Vezi, în această privință, interesantul studiu al lui Norbert Wiener, *Timpul newtonian și timpul bergsonian*. Autorul subliniază contrastul dintre fenomenele ce constituie obiectul de studiu al astronomiei și al meteorologiei. „Fenomenele astronomice mai obișnuite pot fi prevăzute pentru multe secole, pe când o anticipare precisă a vremii de mâine nu este ușoară, și, de fapt, în multe locuri este foarte aproximativă.” (N. Wiener, *Cibernetica*, traducere de Al. Giuculescu, București, Editura științifică, 1967, p. 57.)

³ Punctul de vedere că negarea posibilității de a prezice sau postzice comportarea unor sisteme de mare complexitate nu pune în discuție probleme de ordin principal, ci atrage doar atenția asupra limitelor capacităților noastre de cunoaștere, de măsurare și calcul, se profilează clar deja în unele din primele analize ale demersurilor științei matematice a naturii. Iat-o, spre pildă, pe cea care aparține unui om de știință dintr-o generație apropiată celei a lui Newton, Jean Le Rond d'Alembert. Al său *Essai sur les éléments de la philosophie ou sur les principes des connaissances humaines* constituie și azi o lectură instructivă. Autorul caracterizează legile mișcării, descoperite de Newton, drept corelații cu valabilitate universală, formulate cu referire la situații limită, ideale. El subliniază că numai cu referire la asemenea situații este posibil să se formuleze cu o precizie ideală consecințele acțiunii legilor mișcării. Aceste legi fac posibile formularea unor predicții reușite cu privire la comportarea sistemelor fizice reale în măsura în care cunoașterea cât mai precisă a caracteristicilor lor de stare, într-un anumit moment al timpului, va permite determinarea diferențelor dintre consecințele acțiunii lor în situații limită, ideale, și în situații reale. De aici decurge însemnătatea cunoașterii acestor caracteristici. Conștiința urmărilor pe care le implică cunoașterea limitelor capacităților noastre de măsurare și calcul în ceea ce privește posibilitățile de dominare predictivă a unor sisteme de mare complexitate, rezultă limpede dintr-un asemenea raționament. Ea este exprimată prin ficțiunea unei ființe omnisciente.

⁴ „În formularea exactă a legii cauzale: dacă cunoaștem prezentul, putem calcula viitorul, nu concluzia, ci premisa este falsă. Nu putem, principal,

să cunoaștem prezentul în mod precis, în toate elementele care îi determină comportarea. Deoarece această limită a preciziei este o premisă necesară a mecanicii cuantice și deoarece, pe de altă parte, mecanica cuantică poate fi considerată ca fiind experimental asigurată, prin noua dezvoltare a fizicii atomice lipsa de valabilitate sau, în orice caz, lipsa de obiect a legii cauzale pare să fie definitiv stabilită.” (W. Heisenberg, *Über die Grundprinzipien der „Quantenmechanik“*, [1927], în W. Heisenberg, *Gesammelte Werke*, Bd. I, *Physik und Erkenntnis 1927-1955*, München, Zürich, Piper Verlag, 1984, p. 21) Iată și o altă exprimare pe care a dat-o Heisenberg acestei idei: „Să trecem acum la o formulare serioasă, la aceea care a fost considerată de peste un secol drept temelia întregii fizici. ‘Dacă starea prezentă a unui sistem izolat este cunoscută în mod precis, în toate elementele ei, atunci starea viitoare a sistemului va putea fi calculată pornind de la aceasta.’ Această propoziție constituie baza pentru tentativa grandioasă de a întemeia o știință obiectivă a naturii, întreprinsă de fizicieni în secolul trecut. La baza acestei propoziții stă ipoteza că ar fi principial posibil să cunoaștem un sistem izolat în toate elementele care îi determină comportarea... În noua mecanică cuantică tocmai ipoteza amintită se vedește a fi incorectă. Nu este în mod principial posibil să fie determinate toate acele elemente ale unui sistem izolat care sunt necesare pentru calculul viitorului.” (W. Heisenberg, *Kausalgesetz und Quantenmechanik*, [1930], în *Op. cit.*, pp. 31-32.)

⁵ Aprecierea succesului predicativ drept principalul indiciu al valorii de cunoaștere a unei ipoteze sau teorii poate fi socotită o trăsătură caracteristică a filosofiei științei a empirismului logic, încă în forma inițială pe care a primit-o aceasta în cadrul Cercului de la Viena. M. Schlick scria, în jurul anului 1930, că „avem motive temeinice să considerăm drept caracteristici definitorii ale cunoașterii acele caracteristici ale ei care fac posibilă predicția.” (M. Schlick, *Form and Content. An Introduction to Philosophical Thinking*, în M. Schlick, *Gesammelte Aufsätze 1926-1936*, Hildesheim, Georg Olms Verlag, 1969, p. 185.)

⁶ Vezi C. G. Hempel, *Aspekte wissenschaftlicher Erklärung*, Berlin, New York, Walter de Gruyter, 1977, p. 44.

⁷ Vezi *Op. cit.*, pp. 44-52.

⁸ „Identitatea logică a procesului predicției cu cel al explicației servește drept un control util al faptului dacă o explicație este științific acceptabilă. Putem întotdeauna să ne întrebăm: ‘Dacă am fi cunoscut la timp aceste teorii și dacă am fi avut la dispoziție toate faptele care ne sunt în prezent

cunoscute am fi putut, oare, prezice că se va produce acest eveniment sau ceva asemănător?’ Dacă răspunsul este ‘Da’, atunci avem o explicație științifică.” (J. C. Kemeny, *A Philosopher looks at Science*, New York, Toronto, London, D. Van Nostrand, 1959, pp. 145-46.)

⁹ Nu este greu de arătat care este premisa întregii argumentări a lui Popper: putem supune o construcție teoretică controlului faptelor doar prin mijlocirea predicțiilor pe care le putem deriva din principiile ei. Caracteristica distinctivă a teoriilor științifice ar fi posibilitatea principială de a proba existența unei contradicții de neconciliat între principiile lor și fapte intersubiectiv controlabile. Existența unei asemenea contradicții va putea fi stabilită însă într-un mod care exclude orice dubii numai prin confruntarea unor predicții ale teoriei cu datele observației și ale experimentului. Popper admitea că există o varietate de strategii prin care principiile unei teorii pot fi sustrate înfirmării lor de către datele experienței. El considera, totuși, că în practica cercetării putem distinge în mod suficient de clar situațiile în care aceste principii pot fi apreciate drept răspunzătoare pentru succesul sau eșecul predicțiilor. Atâta timp cât nu se poate arăta însă că anumite predicții sau postdicții testabile au fost derivate în mod univoc din principiile teoriei nu ar exista posibilitatea de a evalua critic pretenția că o anumită teorie oferă o cunoaștere cu valoare obiectivă. Așadar, numai teoriile care fac posibile predicții care trec cu succes teste empirice de acest gen pot pretinde că oferă o explicație autentică a faptelor. Criteriul de delimitare a teoriilor științifice, propus de Popper, se sprijină astfel, în mod clar, pe teza identității structurii explicației și predicției.

¹⁰ Vezi H. Poincaré, *Știință și metodă*, traducere de V. Tonoiu, București, Editura științifică, 1998, Cap. IV, *Hazardul*. Autorul se referă la cazuri de echilibru instabil (de exemplu un con care se sprijină pe vârful său, echilibrul instabil al atmosferei), cazuri în care cauze mici determină efecte considerabile. „Suntem înclinați să credem că dacă am cunoaște starea inițială, cu o anumită aproximație, am putea prezice stările ulterioare cu aceeași aproximație. Dar nu se întâmplă mereu așa. E posibil ca mici diferențe în condițiile inițiale să genereze foarte mari diferențe în fenomenele finale. O mică eroare în privința celor dintii va produce o eroare enormă în privința celor din urmă. Predicția devine imposibilă și avem fenomenul fortuit.” (p. 47) Comportarea pe termen lung a unor asemenea sisteme dinamice deterministe nu va putea fi deosebită, prin urmare, de comportarea unor sisteme indeterministe, stohastice.

¹¹ „Poincaré nu căuta haosul. El încerca să înțeleagă orbitele corpurilor cerești și găsisese haosul. Pentru el, era important fenomenul care făcea ca ecuațiile pentru trei corpuri să fie prea complexe pentru a putea fi soluționate mai degrabă decât principalul subiect al unui viitor câmp de cercetare.” (E. N. Lorenz, *The Essence of Chaos*, Seattle, University of Washington Press, 1993, p. 121.)

¹² „Una din căile cele mai rapide pe care un om de știință câștigă recunoașterea și, poate, un premiu, este rezolvarea unei probleme care a devenit bine cunoscută deoarece cei mai de seamă oameni de știință dintr-o generație mai veche au atacat-o și au eșuat. Cel care caută o asemenea recunoaștere nu este stimulat să privească într-o direcție cu totul nouă, chiar dacă istoria arată că vastul teritoriu neexplorat care înconjoară noi probleme conține uneori cheia pentru rezolvarea unora mai vechi.” (E. N. Lorenz, *Op. cit.*, p. 125.)

¹³ Vezi *Op. cit.*, p. 128-29. Într-o foarte interesantă lucrare recentă, filosoful american Stephen H. Kellert a propus câteva explicații ale progreselor ne semnificative înregistrate în studiul instabilității de la începutul secolului XX și până în ultimele decenii. Prima este lipsa calculatoarelor digitale, care s-au dovedit a fi un instrument foarte puternic, chiar dacă nu indispensabil, pentru cercetarea sistemelor dinamice neliniare. A doua vizează caracteristici ale educației științifice și ale orientării instituționale a cercetării. Ele au favorizat concentrarea eforturilor asupra dinamicii liniare, a mișcărilor stabile, periodice, au instaurat și consolidat ceea ce autorul numește „prejudecata liniară”. A treia explicație, oferită de Kellert, este tendința proprie mentalității științifice dominante de a privilegia predicțiile cantitative, o expresie a interesului social de dominare a naturii. (Vezi St. H. Kellert, *In the Wake of Chaos. Unpredictable Order in Dynamical Systems*, Chicago and London, The University of Chicago Press, 1993, îndeosebi pp. 119-158.)

¹⁴ D. Ruelle, *Zufall und Chaos*, Berlin, Heidelberg, New York, London, Springer Verlag, 1994, p. 58.

¹⁵ Iată ce spune Lorenz despre două simulări succesive, într-un model matematic, ale evoluției stării atmosferei pentru o perioadă mai lungă de timp: „... numerele pe care le-am scris (a doua oară – n.m. M. F.) nu au fost numerele originare exacte, ci valori rotunjite ale celor care apăruseră în calculul inițial. Erorile de rotunjire erau vinovații; ele se amplificau continuu până când dominau soluția. În terminologia de astăzi, era *haosul*.” (*Op. cit.*, p. 136.)

¹⁶ „Dacă aş fi publicat articolul într-o revistă de matematică, el ar fi atras atenţia comunităţii care cercetează haosul cu mult mai repede, dar nu ar fi fost remarcat de către mulţi meteorologi. În ciuda remarcilor usturătoare cu privire la faptul că anumiţi oameni de ştiinţă obţin credit pentru că au scris două articole, când de fapt au scris acelaşi articol de două ori, este evident că acesta este lucrul pe care ar fi trebuit să-l fac pentru a obţine o audienţă mai largă” (*Op. cit.*, p. 145.)

¹⁷ Pentru alte exemple sugestive, vezi şi D. Ruelle, *Op. cit.*, pp. 52-58.

¹⁸ Vezi Robert W. Batterman, *Defining Chaos*, în „*Philosophy of Science*”, 60, 1993. Concluzia autorului este că „instabilitatea potenţială este o condiţie necesară a haosului dinamic”. (p. 60) Se lasă însă fără răspuns întrebarea dacă instabilitatea caracteristică sistemelor dinamice neliniare este o condiţie suficientă a haosului. D. Lynn Holt şi R. Glynn Holt, în articolul *Regularity in Nonlinear Dynamical Systems*, în „*British Journal for the Philosophy of Science*”, 44, 1993, caracterizează sistemele dinamice haotice drept o subclasă a sistemelor dinamice neliniare.

¹⁹ Termenul apare, pentru prima dată, într-un text publicat de D. Ruelle şi F. Takens cu privire la mişcările turbulente. Mişcările turbulente pot fi caracterizate drept curgeri deosebit de neregulate, provocate de o forţă exterioară considerabilă, cum este cea care se exercită asupra apei atunci când robinetul este deschis la maximum. Pornind de la rezultatele matematicianului american Steve Smale, Ruelle şi Takens au descris turbulenţa hidrodinamică prin ceea ce au numit *atractori stranii*. Când au scris acest text, în jurul anului 1970, ei nu cunoşteau încă cercetările lui Lorenz. Lorenz însuşi nu a utilizat iniţial termenul *atractor straniu* pentru acea imagine desemnată de calculator a mişcării unui punct care descrie starea atmosferei aflată în mişcare de convecţie în spaţiul fazelor. Referindu-se la o conferinţă ştiinţifică asupra turbulenţei, la care a participat în 1971, şi la o expunere ținută acolo de către Ruelle, cu titlul *Atractori stranii ca explicaţie matematică a turbulenţei*, Lorenz face următoarea observaţie: „Mi-am dat seama că deşi nu am auzit de un atractor straniu, am văzut totuşi unul.” (*Op. cit.*, p. 136)

²⁰ Vezi, în acest sens, D. Ruelle, *Op. cit.*, pp. 72-87.

²¹ Unii autori insistă asupra caracterului nesatisfăcător al caracterizării sistemelor dinamice numite *haotice* prin impredictibilitate deoarece şi comportările sistemelor stohastice sunt impredictibile. Raţiunile impredictibilităţii sunt însă diferite. Spre deosebire de sistemele haotice, roata de ruletă ideală sau zarul sunt sisteme a căror comportare aleatorie

derivă din cunoașterea imperfectă a condițiilor inițiale. Instabilitatea lor este una de tip liniar.

²² D. Ruelle, *Op. cit.*, p. 91. Vezi, în acest sens, și P. Smith, *Exploring Chaos*, Cambridge, Cambridge University Press, 1998, p. 15-20.

²³ Vezi B. Mandelbrot, *Fractals – a Geometry of Nature*, în (Ed.) N. Hall, *Exploring Chaos. Guide to the New Science of Disorder*, New York, London, W. W. Norton & Co., 1994, pp. 123-124.

²⁴ Vezi D. Ruelle, *Op. cit.*, p. 59. Noutatea fundamentală este că în cazul sistemelor cu atractori stranii impredictibilitatea traiectoriilor descrise de ecuații deterministe nu este consecința limitelor capacităților noastre de cunoaștere. „Am văzut în cele de mai sus cum existența sistemelor haotice transformă noțiunea de imprevizibilitate, eliberînd-o de ideea unei ignoranțe contingente, pentru a cărei depășire ar fi suficientă o îmbogățire a informației, și-i conferă un sens intrinsec.” (I. Prigojine, I. Stengers, *Între eternitate și timp*, traducere de I. Gherguț, București, Editura Humanitas, 1997, p. 87.)

²⁵ E. N. Lorenz, *Op. cit.*, p. 4. În exprimări de acest fel, *întîmplător* se corelează cu *impredictibil*. Kellert face observația că cercetările asupra sistemelor deterministe haotice pun în discuție însăși distincția dintre *rațiuni principiale* și *rațiuni practice* ale impredictibilității. Impredictibilitatea nu este, în acest caz, una principială, în sensul că nu derivă dintr-o lege, dar ea nu este nici una practică în măsura în care nu va putea fi depășită prin îmbunătățirea instrumentelor noastre tehnice de măsurare și calcul. (Vezi St. H. Kellert, *Op. cit.*, p. 47.)

²⁶ *Ibidem*, p. 157.

²⁷ Vezi Fr. Heylighen, *The Growth of Structural and Functional Complexity during Evolution*, în (eds.) Fr. Heylighen, J. Bollen, Al. Riegler, *The Evolution of Complexity*, Dordrecht, Bruxelles, Kluwer Academic Publishers, VUB University Press, 1999, p. 20

²⁸ Vezi E. N. Lorenz, *Op. cit.*, p. 167

²⁹ *Ibidem*, p. 8.

³⁰ *Ibidem*, p. 10

³¹ D. Ruelle, *Op. cit.*, p. 62.

³² J. Hobbs, *Ex post facto explanations*, în *The Journal of Philosophy*, 1993, pp. 121-22.

³³ “Ceea ce aduce teoria haosului este o anumită asigurare că explicații *ex post facto* sunt (1) ceva general și comun, nu iau naștere doar în situații neobișnuite și singulare; (2) ceva de neocolit – explicațiile nu sunt *ex post*

facto datorită unor dificultăți pragmatice sau epistemice remediabile și (3) au putere explicativă autentică.”(J. Hobbs, Op. cit., p. 118.)

³⁴ Aceasta este teza falsificaționistă a lui Popper: ideile generale care vizează explicația faptelor nu pot fi confirmate; ele posedă însă un caracter științific dacă pot fi supuse testelor empirice prin predicțiile pe care le generează și, prin urmare, pot fi infirmate sau coroborate. Pentru un examen critic al formulării date de Popper tezei identității structurii explicației științifice și a predicției, vezi M. Flonta, “Delimitarea cunoașterii științifice”, în M. Flonta, *Imagini ale științei*, București, Editura Academiei Române, 1994, îndeosebi pp. 107-110.

³⁵ J. Hobbs, Op. cit., p.122.

³⁶ P. Smith, Op. cit., îndeosebi pp. 112-115.

³⁷ Ibidem, p. 120.

³⁸ Ibidem, pp. 113-114

³⁹ Ibidem, pp. 56-58.

⁴⁰ Ibidem, pp. 116-117.

⁴¹ Pentru o asemenea caracterizare a distincției dintre explicații formale și înțelegere, vezi J. T. Cushing, *Bohmian Insights into Quantum Chaos*, în (ed.) D. A. Howard, P. S. A. 1998, în *Philosophy of Science*, vol. 67, p. 431

⁴² “Cea mai importantă caracteristică a haosului determinist este imposibilitatea de a prevedea comportarea dincolo de un interval scurt de timp, în viitorul îndepărtat, deoarece sistemele haotice fiind extrem de sensibile la condiții inițiale generează informație pe măsură ce evoluează. Este astfel imposibil să prezicem la timpul t_0 ceea ce se va întâmpla în momentul t_n , fără a calcula fiecare stare intermediară.” (Michel J. Blais, “... and Chaos shall set you free”, în (eds.) M. Marion, R. S. Cohen, *Québec Studies in the Philosophy of Science*, Part I, Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers, 1995, p. 225)

⁴³ Peter Smith, bunăoară, subliniază în monografia sa că în modelele dinamice cu atractorii stranii, ca și în alte modele dinamice dealtfel, este descrisă o evoluție în timp care pornește de la anumite stări inițiale posibile. Explicația cauzală nu este o parte a modelelor. (Vezi Op. cit., p. 72.)

⁴⁴ Vezi M. Friedman, “Explanation and Scientific Understanding”, în *The Journal of Philosophy*, vol. 71, nr. 1, 1974.

⁴⁵ “Știința sporește înțelegerea noastră asupra lumii reducând numărul total de fenomene independente pe care trebuie să le acceptăm drept

ultime sau date. O lume cu mai puține fenomene independente este, celelalte lucruri rămânând egale, este o lume mai ușor de înțeles decât una cu multe.”(M. Friedman, *Op. cit.*, p. 15.)

⁴⁶ P. Kitcher, *Two Approaches to Explanation*, în *Journal of Philosophy*, vol. 82, nr. 12, 1985.

⁴⁷ “Știința face să progreseze înțelegerea noastră asupra naturii, arătându-ne cum să derivăm descrieri ale multor fenomene folosind mereu aceleași *pattern* de derivare și arătându-ne acest lucru, ne învață cum să redum numărul de tipuri de fapte pe care trebuie să le acceptăm drept ultime (sau brute).”(P. Kitcher, “Explanatory Unification and the Causal Structure of the World”, în (eds.) Ph. Kitcher, W. C. Salmon, *Scientific Explanation. Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol XVIII, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1989, p. 432.)

⁴⁸ A rămas proverbială afirmația unui fizician cu reputația Lordului Kelvin, afirmația că el nu înțelege un fenomen fizic atât timp cât nu a putut fi construit un model mecanic al acestui fenomen.

⁴⁹ Vezi Margaret Morrison, *Unifying Scientific Theories. Physical Concepts and Mathematical Structures*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000, p. 5.

⁵⁰ Vezi, de exemplu, St. N. Kellert, *Op. cit.*, îndeosebi pp. 82-97.

⁵¹ Modelele geometrice ale mișcării construite de Galilei, în opoziție cu teoriile de inspirație aristotelică ale filosofiei scolastice a naturii din acea vreme, răspund întrebării “cum?” și nu “de ce?”.

⁵² W. Salmon, *Four Decades of Scientific Explanations*, în (eds.) Ph. Kitcher, W. C. Salmon, *Scientific Explanation*, p.119.

⁵³ Pentru o dezvoltare a acestei teme, vezi P. Suppes, *Explaining the Impredictable*, în „*Erkenntnis*”, 22, 1985, pp. 187-195.

COMPLEXITATEA STRUCTURALĂ A TEORIILOR ȘTIINȚIFICE

Ilie Pârvu

Răspunsul teoretic cel mai adecvat la provocarea complexității unui domeniu al existenței îl reprezintă constituirea unui nivel de abstracție superior, cu noi categorii tematice și principii integrative, capabile să determine o nouă arhitectonică a cunoașterii, să organizeze multitudinea perspectivelor anterioare într-o modalitate coerentă.

În acest mod au apărut în numeroase discipline științifice contemporane teorii structural-abstracte, teorii ale posibilității, ale structurilor fundamentale determinative, teorii capabile să instituie cadrul tematic al unor ample programe de cercetare. Exemplificate de logica generală (sau teoria abstractă a modelelor), de teoriile marilor structuri din matematică, de mecanica cuantică abstractă, de proiectele gramaticilor generale din lingvistică sau de teoria generală a evoluției, aceste noi expresii ale abstracției domină stilistic cunoașterea științifică actuală. Ele, în primul rând, reprezintă locul determinării standardelor metodologice și a condițiilor de raționalitate, dar și toposul interogației transcendente în vederea formulării noilor universalii, a unei noi categorializări a existenței.

Aceste teorii abstracte au cu totul altfel de relații cu realitatea decât teoriile științei moderne, noi forme ale legilor (legi structurale), noi cerințe metateoretice și noi relații cu experiența.

Ele au redefinit și procedeele de interpretare a constructelor teoretice. Prezența lor în corpul disciplinelor științifice caracterizează un nou tip de construcție teoretică, "de sus în jos", pornind de la teorii formale, teorii-cadru ale competenței și descinzând în cadrul unei ample arhitectonici conceptuale prin niveluri și modele intermediare până la structurile empirice care fac posibilă racordarea teoriilor la datele observației și experimentului.

Studiul logic și metodologic al teoriilor abstract-structurale a permis constituirea unei noi reprezentări metateoretice a teoriei în genere, a structurii, funcțiilor și modalităților de interpretare a teoriilor științifice. Această viziune metateoretică asupra teoriei științifice este prezentată în filosofia contemporană a științei prin modele alternative, cum ar fi: structuralismul epistemologic, abordarea model-teoretică, concepția semantică asupra teoriilor, concepția non-propozițională asupra teoriilor etc. (P. Suppes, M. Bunge, J. D. Sneed, W. Stegmüller, C. U. Moulines, W. Balzer, C. B. van Fraassen, Fr. Suppe, M. L. Dalla Chiara, R. Giere ș. a.). Deosebirile dintre aceste modele alternative de reconstrucție a ideii de teorie științifică țin cel mai adesea de natura instrumentelor formale utilizate în reprezentarea nucleului conceptual al teoriei, în proiectarea structurii logice a teoriei (teoria mulțimilor, naivă sau formalizată, teoria laticelor, topologia, teoria categoriilor, teoria speciilor de structuri în sensul lui Bourbaki etc). Toate aceste "alternative structuraliste" au însă în comun cel puțin două lucruri; o anumită modalitate de construcție axiomatică a științei, ca punct de plecare, axiomatica structurală, și prin aceasta orientarea interesului spre marile structuri ale corpus-ului teoretic, spre organizarea globală a disciplinelor complexe; în al doilea rând, importanța acordată modelelor elaborate în știință în vederea reconstrucției teoretice a realului în detrimentul formulărilor propoziționale ale teoriilor, al sistemelor de propoziții, organizate axiomatic, prin care s-ar formula conținutul cognitiv al științei.

Structuralismul metateoretic a apărut atât ca un rezultat al

reflecției logico-epistemologice asupra teoriilor abstracte din cele mai elaborate discipline științifice de la mijlocul secolului XX, matematica și fizica teoretică, cât și ca urmare a erodării modelului empirist standard al teoriilor (care concepea teoriile ca sisteme formale interpretate empiric prin reguli de corespondență), produsă de încercarea reprezentanților lui de a trece de la nivelul *filosofiei generale a științei* (ce se limita la modele suprasimplificate ale teoriilor și ale relațiilor acestora cu experiența și realitatea) la nivelul *cercetării fundamentale* din diferite discipline științifice sau al filosofiei speciale a științei. Încercarea de a implica modelul standard în cercetările fundamentale din diverse discipline științifice de un înalt grad de elaborare teoretică (fizica, biologia, lingvistica etc.) a condus mai degrabă decât anumite critici epistemologice sau metodologice (K. Popper, W. van O. Quine) la disoluția viziunii empirist logice asupra teoretizării științifice; modelul standard s-a dovedit nerealist, neadecvat ca instrument al cercetării fundamentale.

Într-adevăr, unul dintre inițiatorii concepției structuraliste, P. Suppes, pentru a elimina suprasimplificările modelului empirist-logic al teoriilor a propus o nouă "formă" a teoriilor științifice, care poate fi construită nu prin apel la logică, ci la matematică. Ideea lui a fost foarte sugestiv prezentată de van Fraassen: "În orice tragedie, suspectăm că o eroare crucială a fost făcută chiar la început. Eroarea, cred, a fost aceea de a confunda o teorie cu formularea unei teorii într-un anumit limbaj. Primul care a schimbat perspectiva a fost Patrick Suppes, cu mult cunoscutul lui slogan: instrumentul corect al filosofiei științei este matematica *nu* metamatematica". Suppes indica astfel o nouă perspectivă în înțelegerea și reconstrucția teoriilor: "a prezenta o teorie înseamnă a defini direct clasa modelelor ei, fără a acorda vreo atenție problemelor axiomatizabilității într-un limbaj special, oricât ar fi el de relevant sau simplu sau interesant din punct de vedere logic. Și dacă o teorie ca atare va trebui să fie în genere identificată - dacă teoriile trebuie reificate - atunci o teorie trebuie identificată cu clasa modelelor ei" (B. C. van Fraassen 1987:108-109). Rațiunea

pentru care filosofiile științei au preferat să vorbească despre limbajul teoriilor decât despre modelele ei era, după Suppes, simplitatea reprezentării logice a teoriilor, dar și a exemplelor construite pe baza acestei abordări: "În primul rând, exemplele de teorii ale filosofilor sunt de obicei simple și ca atare ele sunt ușor de discutat într-o abordare lingvistică directă. În al doilea rând, introducerea modelelor introduce inevitabil în discuție un element matematic mai puternic" (P. Suppes 1967:57).

Considerarea teoriilor din perspectiva modelelor permite utilizarea tehnicilor formale ale matematicii, mult mai apte de a reda complexitatea reală a teoretizării din științele realului. Așa cum consideră Suppes, teoriile din științele naturii sunt "similare din punctul de vedere al gradului complexității cu teoriile studiate în principal în matematica pură". De aceea, pare natural să se preia în înțelegerea științei modul cum sunt considerate teoriile matematicii, să se introducă așadar abordarea "extensională", numită de Suppes "extrinsecă", altfel spus, să se definească fundamental o teorie prin "clasa intenționată a modelelor ei" (P. Suppes 1967:60). Ca și în matematică, a prezenta o teorie înseamnă a defini o clasă de sisteme. Astfel, prezentarea modernă a geometriei euclidiene ne oferă definiția spațiului euclidian, nu o listă de axiome ale geometriei euclidiene; la fel, axiomatizarea mecanicii newtoniene definește sistemul mecanic newtonian.

Considerarea modelelor teoriei ne oferă în același timp o altă perspectivă și asupra celei de-a doua părți a teoriei - interpretarea empirică: aceasta nu se mai reprezintă prin "definiții coordonatoare" care ar lega direct nivelul teoretic de datele de observație, ci printr-o "ierarhie de teorii care se interpun între o teorie fundamentală și experimentele prezentate ca suport al ei" (P. Suppes 1967:63). Ideea regulilor de corespondență din modelul standard ilustrează un aspect esențial al viziunii empiriste a teoriilor: instanțiabilitatea directă a legilor fundamentale. Forma canonică a teoriilor, propusă de concepția standard constituia astfel o simplificare excesivă a structurii interne a teoriilor și a relațiilor

lor cu experiența. Ea nu mai dădea seama de cercetările fundamentale din științele dezvoltate și de practica efectivă a construcției și interpretării teoriilor: "Distincțiile logice scolastice pe care tradiția pozitivistă le-a produs - vocabular teoretic și de observație, reducții-Craig, propoziții-Ramsey, teorii axiomatizabile în logica de ordinul întâi. Propoziții de reducere, predicate proiectibile, termeni dispoziționali și toate celelalte - ne-au condus la *mille milles de tout habitation scientifique*, ne-au izolat în visurile noastre abstracte" (B. C. van Fraassen 1987: 110).

Dintre cele două trăsături comune reprezentărilor structuraliste, modalitatea de construcție axiomatică de tipul axiomatizării structurale, care a debutat cu axiomatizarea geometriei euclidiene de către Hilbert, și-a găsit mai devreme "exponentul" ei epistemologic. Astfel, P. Bernays, colaboratorul lui Hilbert, considera că în maniera *Fundamentelor geometriei* a lui Hilbert o teorie este reprezentată nu printr-un "sistem axiomatic considerat ca un sistem de propoziții asupra unui domeniu, ci ca un sistem de condiții pentru ceea ce se va numi o structură relațională" (Bernays 1967:97). Cu alte cuvinte, o teorie axiomatizată în acest mod caracterizează direct o structură, definind un concept de un ordin superior celor implicate în formularea "axiomelor". În axiomatizarea structurală, așa cum considera și W. Stegmüller, "toate axiomele descriu o *structură matematică* care se exprimă în totalitatea relațiilor formulate în axiome" (W. Stegmüller 1973: 40). Această axiomatizare constituie astfel o matematizare sui generis a teoriilor, ea definește matematic o entitate integrală, un "ontos complet", cum scria Dan Barbilian; ea este o modalitate de construcție originară a teoriilor nu doar una de organizare logică ulterioară a unui corpus propozițional. Implicațiile epistemologice și ontologice ale noii "forme axiomatice" a teoriilor au fost prezentate în studii ce au devenit programe în știință de David Hilbert însuși (*Gândirea axiomatică*) și de membrii grupului N. Bourbaki (*Arhitectura matematicii*).

A doua componentă a viziunii structuraliste, și anume rolul

modelelor ca entități definitorii atât pentru structura internă a teoriilor (pentru determinarea legilor fundamentale, dar și a condițiilor aplicării matematicii la experiență, aplicare constitutivă teoretizării științifice veritabile), cât și pentru articularea, în cadrul unui program fundamental de cercetare a nivelurilor lui de construcție și interpretare, a fost pusă în evidență mai târziu și într-o modalitate mult mai complicată și cu numeroase ezitări conceptuale. Unul dintre primii filosofi și epistemologi care au denunțat, în această privință, ca neadecvată “concepția clasică a naturii teoriilor” a fost W. Sellars. În celebrul lui studiu, *Empiricism and the Philosophy of Mind* (1956), Sellars considera reprezentarea teoriei (propusă inițial de Norman Campbell și susținută de R. Carnap, H. Reichenbach, C. G. Hempel ș. a.) printr-un sistem de postulate corelat prin reguli de corespondență cu discursul de observație ca pe o “image foarte artificială și nerealistă asupra a ceea ce realmente fac oamenii de știință în procesul construirii teoriilor” (W. Sellars 1965/2000: 96). Această concepție, care poate oferi doar o imagine parțială a “statutului logic al teoriilor”, nu dă seama de faptul că “supozițiile fundamentale ale unei teorii sunt elaborate în mod obișnuit nu prin construirea unor calcule neinterpretate care s-ar putea corela într-o manieră directă cu discursul de observație, ci mai degrabă prin încercarea de a găsi un *model*, adică de a descrie un domeniu de obiecte familiar ce se comportă în mod familiar astfel încât noi am putea vedea cum ar putea fi explicate fenomenele dacă ele ar consta din acest gen de lucruri. Lucrul esențial asupra unui model este acela că el este însoțit, astfel spus, de un comentariu care *specifică* sau *limitează* - nu în mod precis și exhaustiv - analogia între obiectele familiare și entitățile introduse de teorie. Descrierile modurilor în care se comportă obiectele în domeniul modelului, astfel specificat, sunt acelea care, transferate asupra entităților teoretice, corespund postulatelor imaginii logice a construcției teoriilor” (W. Sellars 1965/2000: 96).

Pentru a putea participa la definirea noii “forme” a teoriilor, ideea de model trebuia eliberată atât de conotația naivă, prezentă

încă la Sellars, a analogiei cu familiarul, dar și de sensul ei din metalogică (așa cum apare la unii reprezentanți ai "concepției semantice a teoriilor"), pentru a se determina ca structură matematică (sistem relațional) care poate fi corelată, în diverse chipuri, cu o altă structură matematică. În acest sens, van Fraassen observa cu îndreptățire: "Impactul inovației lui Suppes este pierdut dacă modelele sunt definite, ca în multe dintre textele logice standard, ca entități parțial lingvistice, fiecare fiind unită cu o sintaxă particulară. Aici modelele sunt structuri matematice, fiind numite modele ale unei teorii date numai în virtutea faptului că aparțin clasei definite a fi modelele acestei teorii" (B. C. van Fraassen 1987: 122). Sensul pur matematic al modelelor (care se va întâlni ulterior și în teoria abstractă a modelelor), aplicat în reconstrucția teoriilor permite distincții relevante logic și semnificative epistemologic, care nu pot fi realizate în formalizările teoriilor după modelul metamatematicii. Conceptele matematice utilizate în prezentarea teoriilor ne permit să depășim "distanța enormă față de cercetarea efectivă din fundamentele științei a axiomaticilor formulabile sintactic. Dacă acest decalaj ar putea să nu afecteze intențiile filosofice care vor doar să indice ceea ce este posibil <în principiu>, el, cu siguranță, va afecta posibilitatea reală a înțelegerii și clarificării" (B. C. van Fraassen 1987:120). De aceea, prezentările sau reconstrucțiile logico-lingvistice ale teoriilor constituie o "alegere săracă": "Motivul pentru aceasta este că descrierile structurii în termenii satisfacerii expresiilor sunt, după câte pot observa, în mod general mai puțin informative și mai puțin clarificatoare decât descrierea direct matematică (în locul celei meta-matematice). Această alegere se află, explicit sau implicit, la baza aproape a tuturor studiilor filosofice ale științei orientate lingvistic. Ea a fost o alegere subiacentă implicit aproape tuturor filosofiilor logic-pozitiviste ale științei" (B. C. van Fraassen 1987:120).

Conceptul matematic de model, utilizat în metateoria structuralistă permite înțelegerea teoriilor astfel încât "nucleul unei teorii fizice este întotdeauna un fragment coerent de matematică,

care să arunce o lumină asupra proceselor și stărilor de lucruri din domeniul teoriei respective. Orice fragment coerent de matematică poate fi articulat - așa cum a făcut Hilbert cu geometria euclidiană - ca un concept al unui sistem relațional sau structură. Un asemenea concept aruncă o lumină asupra unui domeniu fizic atunci când acesta din urmă este considerat o instanță sau familie de instanțe ale structurii” (R. Toretti 1999:412).

Sinteza celor două “momente” constitutive ale viziunii structuraliste asupra teoriilor s-a realizat în opera de pionierat a lui Joseph D. Sneed, *The Logical Structure of Mathematical Physics* (1971). În cadrul ei, axiomatizarea structurală (set-teoretică, în termenii lui Sneed, prin definirea unui predicat al teoriei mulțimilor) a fost ea însăși elaborată și interpretată model-teoretic. Diferitele specii de modele definesc acum principalele elemente componente ale structurii teoriilor fizicii matematice. Modelele nu mai reprezintă doar niveluri mediatore ale interpretării unei teorii axiomatizate, ci prin ele se definesc înseși “elementele” teoreticului, componentele nucleului structural al teoriei. Posibilitatea utilizării modelelor în studiul teoriilor a fost inițiată de Carnap în studiile sale de logică inductivă, în care s-a introdus definiția model-teoretică a propoziției (propozițiile pot fi reprezentate prin clase de modele). Pe de altă parte, modelele își dezvăluie semnificația într-o asemenea axiomatizare structurală, își transformă radical natura pentru a putea realiza această funcție determinativă pentru organizarea structurală a teoriei, nu doar pentru corelarea unor structuri abstracte preexistente cu limbajul de observație. Într-o anumită măsură, utilizarea modelelor matematice în reconstrucția lui Sneed a teoriilor fizicii matematice justifică logic cele două sensuri ale “matematismului” ca exigență definitorie pentru orice teorie “veritabilă”, formulate de Kant în *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*: matematica este determinantă atât pentru structura internă a teoriei, dar și pentru însăși posibilitatea aplicării la experiență a unor constructe matematice în vederea constituirii teoriei fizice.

Vom porni de la un exemplu clasic de axiomatizare

structurală prin definirea unui predicat al teoriei mulțimilor.

X este o mecanică clasică a particulelor ($PM(X)$) $\leftrightarrow$ există P, T, s, m, f , astfel încât au loc:

- (1) $X = \langle P, T, s, m, f \rangle$;
- (2) P este o mulțime finită nevidă;
- (3) T este un interval al numerelor reale;
- (4) s este o funcție cu $D_I(s) = P \times T$ și $D_{II}(s) \subseteq R^3$; s este în intervalul deschis din T de două ori diferențiabilă după timp;
- (5) m este o funcție cu $D_I(m) = P \times T$ și $D_{II}(m) \subseteq R$, unde $m(u) > 0$ pentru orice $u \in P$;
- (6) f este o funcție cu $D_I(f) = P \times T \times N$ și $D_{II}(f) \subseteq R^3$ și pentru orice $u \in P$ și orice $t \in T$: $\sum_{i \in N} f(u, t, i)$ este absolut convergentă;
- (7) pentru orice $u \in P$ și orice $t \in T$: $m(u) \cdot D^2 s(u, t) = \sum_{i \in N} f(u, t, i)$.

Modelele, considerate în genere, sunt entități structurale (sisteme relaționale) constituite din mulțimi de obiecte („mulțimi de bază”) și un sistem de relații asupra acestora, care satisfac anumite condiții: $M = \langle D_1, \dots, D_m, R_1, \dots, R_n \rangle$. În funcție de alegerea anumitor condiții din cele (1) - (7) formulate în definiția predicatului „mecanică clasică a particulelor”, vom putea determina diferite tipuri de modele ale teoriei. Acele sisteme relaționale care vor satisface toate condițiile definiției vor fi modelele propriu-zise ale teoriei și ele vor determina extensional legile teoriei. Ele au fost numite de Sneed, simplu, modelele teoriei. Altfel spus, mulțimea tuturor „axiomelor” (condițiilor definiționale) determină exact clasa modelelor de care avem nevoie pentru a reprezenta un domeniu de fenomene pe care vrem să-l studiem. Se disting, astfel, în cadrul axiomelor, două tipuri: axiome-cadru (*frame conditions*) și axiome propriu-zise (*substantial laws*). Primele formulează doar proprietățile formal-matematice ale conceptelor pe care vrem să le folosim,

substructura matematică a teoriei; cele din clasa a doua "spun ceva asupra lumii" prin conceptele a căror structură formală a fost determinată de axiomele-cadru. Clasa structurilor care vor satisface doar condițiile-cadru se va numi clasa *modelelor potențiale* ale teoriei, Mp. *Modelele* sunt acele structuri care satisfac, în plus, și axiomele propriu-zise. În principiu, o teorie se poate identifica prin M și Mp.

Pentru teorii complexe, structura lor mai elaborată necesită specificarea și a altor componente. Acestea vor fi introduse prin considerații metateoretice (vezi C. U. Moulines 1996).

(i) Modelele aceleiași teorii nu apar izolate, ci sunt reciproc corelate prin anumite condiții de ordinul doi. Pentru acestea, structuralismul a introdus un concept nou în filosofia științei, *constrângerile (constraints)*, C.

(ii) Teoriile nu sunt unități izolate; modelele diferitelor teorii sunt reciproc corelate. Aceste relații interteoretice se vor numi *legături (links)*, L.

(iii) Trebuie să distingem în cadrul aceleiași teorii două niveluri conceptuale și metodologice: acela al conceptelor care sunt specifice teoriei respective și care pot fi determinate numai prin asumarea teoriei; și nivelul conceptelor care "vin din afară". Ultimele sunt determinate de teoriile subiacente sau logic anterioare acelei teorii avute în vedere. Pentru o anumită teorie, T, prima clasă de concepte (a căror semnificație e dependentă de teorie ca întreg) se va numi clasa conceptelor T-teoretice; celelalte se vor numi T-nonteorietice. Clasa substructurilor care vor satisface numai axiomele pentru conceptele nonteorietice, care reprezintă baza (relativă) a datelor pentru T, vor fi numite *modele potențiale parțiale*, Mpp.

(iv) Pentru o înțelegere realistă, relația teoriei cu realitatea va implica un anumit grad de aproximare, care va afecta și exactitatea modelelor ei; este necesară de aceea stabilirea unor limite ale acestei nedeterminări: formal, ele pot fi caracterizate considerându-le elemente ale unei "uniformități" U, în sensul

topologiei; se vor introduce și asupra acestora anumite restricții, prin care se stabilesc nedeterminările admisibile, A.

Aceste patru componente stabilite mai sus sunt considerate de structuralism “constituenți esențiali ai oricărei teorii empirice” (din științele teoretice ale naturii). Ele pot fi introduse ca primitivi metateoretice sau pot fi determinate prin corelația lor cu “cadru teoriei”, modelele potențiale. Ultima alternativă poate fi redată în felul următor:

- a) $M \subseteq M_p$;
- b) $C \subseteq Po(M_p)$
- c) pentru orice $\lambda \in L$, există un $M_p' \neq M_p$ astfel încât $\lambda \subseteq M_p \times M_p'$
- d) există o funcție nesurjectivă r astfel încât $r: M \rightarrow M_{pp}$
- e) $A \subseteq U \in Po(M_p \in M_p)$

Cu aceste elemente, identitatea formală a unei teorii (nulceul ei formal) poate fi redată prin tuplul:

$$K =: \langle M_p, M, M_{pp}, C, L, A \rangle.$$

Structuralismul consideră că natura unei teorii empirice nu este complet reprezentată de nucleul ei structural, K. O teorie empirică se presupune că este aplicabilă unor “fenomene externe” asupra cărora ea face predicții, oferă explicații etc. Această lume externă este numită de structuralism “domeniul aplicațiilor intenționate ale teoriei”, I. El este, cum scrie Moulines, domeniul fenomenelor la care cei care utilizează teoria intenționează să aplice conceptele și legile ei; el aparține identității teoriei, deoarece altfel n-am ști la ce se referă teoria. Același autor consideră că aceste aplicații intenționate nu reprezintă nici “realitatea pură”, nici “experiența pură”; acest domeniu nu este un “lucru în sine” și nu constă nici din datele senzoriale preconceptualizate, o lume *ready-made* sau o experiență nestructurată. La o asemenea

“materie”, teoriile științifice n-au acces epistemic, Pentru structuralism, domeniul aplicațiilor intenționate este conceptual determinat de “conceptele deja disponibile”; acestea provin din teoriile logic anterioare (constituite independent) față de teoria avută în vedere, construite înainte de aceasta și fără să o presupună logic; conceptele lor nu sunt dependente din punctul de vedere al semnificației și al determinării metodologice (determinări operaționale, măsurare etc.) de teoria T, sunt ne-T-teoretice. Mulțimea (deschisă, pragmatic determinabilă) a aplicațiilor intenționate (ce poate fi o submulțime a modelelor potențiale sau a modelelor parțiale) nu definește un unic univers de discurs, o singură “aplicație cosmică” a teoriei; aplicațiile intenționate ale unei teorii sunt multiple și locale, sau cum spune Moulines, “mici fragmente ale experienței umane”.

Mulți dintre reprezentanții concepției structuraliste au insistat asupra diferenței dintre teoriile concepute ca mulțimi de propoziții (asertiuni capabile de testare experimentală, vizând un domeniu de realitate) și teoriile înțelese non-propozițional, ca mulțimi organizate de structuri (modele). Propozițiile (*statements*) sunt utilizate pentru a face asertiuni cu nucleul structural, K, și anume de genul următor: un domeniu de aplicații intenționate poate fi realmente subsumat principiilor teoriei (legi, constrângeri, legături). Formal, asertiunea empirică asociată unei teorii (*empirical claim*) poate fi construită astfel: vom desemna prin $Cn(K)$ conținutul teoretic al unei teorii cu nucleul (formal) K; dacă nu introducem sau nu acceptăm distincția teoretic-neteoretic, putem defini $Cn(K)$ prin:

$$Cn(K) =: Po(M) \cap C \cap Po(L).$$

Dacă apelăm la distincția T-teoretic-T-neteoretic, definiția va fi:

$$Cn(K) =: r(Po M) \cap C \cap Po(L).$$

Trebuie să avem în vedere, observă Moulines, că r se definește ca o relație între M_p și M_{pp} , dar ea introduce o ierarhie infinită de funcții de restricție (reducere) la niveluri superioare într-o manieră standard; de aceea, se poate folosi, pentru simplificare, același simbol " r " pentru toate nivelurile.

Aserțiunea empirică centrală a teoriei se poate formula prin :

$$I \in Cn(K).$$

Această formulă exprimă o propoziție "asupra lumii", fiind verificabilă independent de K . Ea este o "asertiune globală", holistă, nedecomposabilă într-o sumă logică de propoziții prin care s-ar reda "conținutul empiric" al teoriei, concept definit în modelul empirist standard prin clasa de consecințe logice ale teoriei formulabile numai în limbajul de observație. Această asertiune empirică a unei teorii ne indică și faptul că ea se construiește, nu este doar o consecință logică a postulatelor teoriei, la această construcție participând uneori întreaga anterioritate logică a teoriei, substructura ei cât și teorii auxiliare din cadrul întregii discipline.

Domeniul aplicațiilor intenționate participă la identificarea teoriei (fiecare teorie având propriul ei asemenea domeniu, chiar dacă uneori se pot întâlni suprapuneri sau intersecții teoretice în cadrul unui domeniu). Ca urmare, se poate redefini T ca o pereche ordonată $\langle K, I \rangle$, care e considerată teoria-element, unitatea cea mai simplă a unei organizări teoretice.

Teoriile complexe din știință constituie rețele de teorii-element. Aceste agregate, construite ierarhic și axiomatizate corespunzător, se definesc, formal ca mulțimi de teorii-element unificate printr-un cadru conceptual comun, o distincție comună între structurile T -teoretice și T -neteoretice și prin faptul că ele sunt specializări ale unei singure legi fundamentale. Noțiunea de specializare (o relație de ordine) se definește astfel:

$$T_j \sigma T_i \text{ ddacă:}$$

$$(1) M_p^i = M_p^i;$$

$$(2) M_{pp}^i = M_{pp}^i;$$

$$(3) M^j \subseteq M^i;$$

$$(4) C^j \subseteq C^i;$$

$$(5) L^j \subseteq L^i;$$

$$(6) I^j \subseteq I^i.$$

Din aceasta se observă că, de fapt, ceea ce unește (trebuind să fie identice) teoriile-element ale unei rețele este cadrul conceptual al posibilității unor legi (M_p) și distincția comună teoretic-neteoretic, cu alte cuvinte, relația identică cu subteoriile constitutive. O *teorie-rețea* va fi astfel o mulțime finită de teorii-elemente ordonată de σ .

Teoria-rețea este conceptul structuralist pentru reprezentarea teoriilor în sensul comun din știință, considerate sincronice. Pentru a avea o perspectivă mai realistă asupra naturii teoriilor științifice vor trebui definite concepte structuraliste atât pentru diacronia teoriilor cât și pentru organizarea disciplinară a acestora. Pentru primul aspect, Moulines a introdus conceptul de *teorie-evoluție*, ca serie de teorii ce satisfac două condiții: (a) la nivelul lui K: fiecare nouă *teorie-rețea* din serie trebuie să fie astfel încât toate teoriile ei elementare să fie specializări ale unor teorii-element ale rețelei anterioare; (b) la nivelul lui I: domeniile unei noi rețele să aibă cel puțin o suprapunere parțială cu domeniile rețelei anterioare. Pentru al doilea aspect se introduce conceptul de *teorie-holon* H, un complex de teorii-rețea corelate prin legături (interteoretice) “esențiale”, presupuse de acele teorii-rețea care “lucrează” efectiv împreună.

Structuralismul este caracterizat de Moulines ca o “școală de

gândire”, ai cărei reprezentanți au în comun utilizarea unor concepte ale acestei metateorii, deși ei pot avea concepții filosofice diferite asupra multor aspecte. Această perspectivă asupra științei se articulează atât la nivelul filosofiei generale a științei, conceptele și metodele structuraliste fiind utilizate aici pentru clarificarea unor probleme epistemologice, metodologice și filosofice asupra științei în genere, cât și la nivelul filosofiei speciale a științei, prin numeroase studii de caz în care perspectiva structuralistă este implicată într-un gen de cercetare fundațională în diverse discipline: fizică, chimie, biologie, psihologie, lingvistică, sociologie, economie, teoria literaturii etc. Această enormă arie de aplicații prin cercetări locale, speciale nu este doar rezultatul unei rutine a unui program; fără să fie intenționat condus, acest efort are o semnificație majoră: în multe discipline el a produs rezultate noi atât din punctul de vedere al disciplinei supuse cercetării structuraliste, cât și al metateoriei structuraliste, care și-a adaptat instrumentele și conceptele interpretative la situații din ce în ce mai complexe și surprinzătoare. Pe de altă parte, această varietate a studiilor speciale poate dovedi nu numai potențialul metodologic al structuralismului, dar, așa cum consideră Moulines, ele oferă și un anumit suport empiric unei susțineri fundamentale a sa și anume că, la nivelul structurilor profunde, există trăsături comune între toate disciplinele științifice care au atins un anumit grad de maturizare teoretică și de complexitate metodologică, trăsături pe care le poate reprezenta adecvat teoria structuralistă a științei.

Metateoria structuralistă, “ca orice teorie științifică”, are propria ei metafizică (ontologie) și propria ei metodologie: “ea face unele asumptii ontologice și alege unele metode specifice de analiză”. În încercarea de a explicita “substructura filosofică” a concepției structuraliste, Moulines (C. U. Moulines 1996) consideră că ontologia structuralismului este angajată față de următoarele susțineri:

(1) *Există teorii științifice, și anume în cel puțin unul dintre cele trei sensuri ale “teoriei” pe care le-a distins structuralismul:*

teorie-element (nivelul minimal al organizării teoretice, echivalent cu idea obișnuită de lege științifică - de unde se vede clar că "elementarul" în știință, pentru structuralism, este un modul teoretic), teorie-rețea (echivalentul formal al ideii obișnuite în știință a teoriei) și teorie-holon (corespunzătoare organizării unei arhitectonici teoretice complexe, a unei discipline științifice).

(2) Teoriile științifice sunt obiecte culturale de un gen abstract, în sensul că ele nu au o localizare spațio-temporală, așa cum au obiectele comune sau ale fizicii macroscopice. Statutul lor ontologic este asemănat de Moulines cu acela al limbilor (în sensul lui F. De Saussure), al simfoniilor sau programelor de calculator.

(3) Teoriile științifice au o structură profundă; de aceea, criteriile lor de identitate și componentele lor esențiale nu se pot cunoaște doar prin cercetarea "aparențelor" care le instanțiază (ex. textele științifice); este necesară o activitate nebanală pentru descoperirea și formularea lor.

(4) Teoriile științifice sunt entități gen-identice, ele au o "viață" proprie ca și oamenii sau națiunile.

(5) Teoriile științifice nu sunt "monade", ele sunt esențial corelate cu lucruri din afara lor, o lume din care fac parte alte teorii științifice; aceasta înseamnă că relațiile interteoretice aparțin însăși "esenței" lor.

Susținerile (1) - (3) nu sunt proprii empiriștilor și sociologilor științei, "nominaliști fără să știe". De asemenea, susține Moulines, eroarea comună a majorității filosofilor contemporani ai științei (raționaliști critici, empiriști constructivi, realiști științifici) constă în aceea că ei acceptă *volens nolens* (1) și (2), dar ignoră (3). Ignorarea lui (4) a fost eroarea comună filosofiei pre-kuhniene a științei, iar ignorarea lui (5) a majorității post-kuhnienilor. Structuralismul, afirmă Moulines, reprezintă o încercare de a remedia toate aceste deficiențe ale filosofiilor actuale sau mai vechi ale științei.

Metodologia structuralismului se bazează pe următoarele

idei:

(i) Structura profundă a teoriilor științifice, ca entități abstracte, se dezvăluie prin analiză formală.

(ii) Genul de “analiză conceptuală” cerut de structuralism apelează (ca instrument al reconstrucției) la teoria naivă (neaxiomatizată) a mulțimilor. De aceea, structuralismul a fost numit și “abordarea set-teoretică a teoriilor”. Preferarea teoriei mulțimilor se bazează, ca și în reconstrucția bourbakistă a matematicii, față de care Stegmüller considera structuralismul a fi un analog pentru științele empirice (W. Stegmüller 1979), pe caracterul ei universal și pe capacitatea acestei teorii-cadru a matematicii de a produce structuri complexe și criterii efective de ierarhizare a acestora. Dar, în evoluția ulterioară, au fost utilizate și alte instrumente matematice: teoria categoriilor, topologia, teoria axiomatică a mulțimilor etc.

Aparatul formal expus până acum a fost denumit de Sneed “notația canonică” a teoriilor empirice (J. D. Sneed 1977: 216). Această denumire, inspirată din Quine, nu are conotația reducționistă a concepției lui Quine asupra logicii de ordinul întâi, teoria-cadru a întregii științe.

Considerată la nivelul filosofiei generale a științei, metateoria structuralistă are importante semnificații epistemologice. Acestea au fost puse în evidență îndeosebi de W. Stegmüller, mai ales pe calea reconstrucției (și justificării parțiale) a unor idei și teze ale filosofiei științei formulate în cadrul altor orientări, cum ar fi: holismul, imunitatea paradigmelor în fața experienței recalcitrante, incomensurabilitatea paradigmelor etc. W. Stegmüller a propus și reconstrucții structuraliste ale relațiilor interteoretice care au făcut posibile o serie de considerații asupra raționalității științei și progresului cunoașterii. Cum observa Th. S. Kuhn, care a apreciat în mod deosebit abordarea lui Sneed și Stegmüller, “versiunea lui Sneed-Stegmüller” a teoriilor poate fi considerată una care dă seama cel mai bine de ceea ce realmente se petrece în știință și care “se adaptează la perspectiva istoric-

evolutivă” asupra științei (Th. S. Kuhn 2000:319).

O inițiativă epistemologică majoră a lui Sneed, rămasă aproape neobservată de filosofii științei, este aceea de a analiza problematica realismului științific din perspectiva metateoriei structuraliste. Studiul lui Sneed *Structuralism and Scientific Realism* (1983) clarifică susținerile principale ale “realismului minimal” și le compară cu implicațiile reconstrucției structuraliste. Din această perspectivă, structuralismul nu apare, cum s-a considerat uneori, ca o “nouă versiune a instrumentalismului ascunsă sub haina unei notații set-teoretice”; el este mult mai implicat epistemologic pe linia realismului, considerând că “teoriile empirice fac aserțiuni clare, descriptive, falsificabile asupra obiectului lor”. Modul în care se constituie ipoteza de existență a teoriilor reprezintă, după Sneed, însăși tema centrală a structuralismului: “Structuralismul este esențialmente o concepție asupra formei logice a aserțiunilor (*claims*) teoriilor empirice și a naturii predicatelor folosite pentru a face aceste aserțiuni. El a avut la origine încercarea de a descrie precis aserțiunile empirice ale teoriilor în care este folosit un considerabil aparat matematic. Teoriile fizicii matematice oferă aplicația lui <paradigmatică>” (J. D. Sneed 1983:350-351). Pornind de la analiza “speciilor de structuri” matematice care pot reprezenta acele predicate, structuralismul permite o veritabilă “analiză spectrală” a angajărilor ontologice/existențiale ale teoriilor, care se dovedesc a fi mult mai complexe decât cele dezvăluite de aplicarea unor “criterii de existență” propuse de ontologia analitică.

S-a considerat uneori că structuralismul n-ar fi angajat epistemologic, că n-ar pretinde a fi mai mult decât o metodologie reconstrucționistă. Astfel, W. Diederich afirma că structuralismul oferă în primul rând “instrumente pentru reconstrucție de o largă aplicabilitate” deosebindu-se și în această privință de modelul standard (*statement-view*): “Empiriștii logici par a-și înțelege și propria lor metateorie în același mod în care concep teoriile în general; dacă pe acestea le consideră propoziții universale

(*Allsätze*), propria lor metateorie e înțeleasă ca o propoziție universală asupra teoriilor științifice. Structuralismul, dimpotrivă, transportă punctul său de vedere nelingvistic asupra propriei metateorii: ea este un instrument care și-a găsit paradigmatic o aplicație reușită la anumite situații (mai întâi mecanica clasică a particulelor) și este aplicabil, ipotetic, la un domeniu mai larg; aplicație înseamnă aici reconstrucție în cadrul metateoretic structuralist. Pretenția aplicabilității universale la teoriile științifice (empirice) nu s-a formulat și ar fi complet străină concepției lui Sneed” (W. Diederich 1981: 43).

Conceput în mod evident ca un program de cercetare și nu ca o teză generală de filosofia științei, structuralismul înțelege “teoria” sa (metateoria) într-un mod eminamente constructiv. Acest lucru a fost sugestiv prezentat de W. Diederich: “teoria lui Sneed nu este un sistem fix de propoziții asupra teoriilor; ci o structură care se autodiferențiază pe măsura aplicării ei succesive la tot mai multe teorii-obiect” (52). Ca program metateoretic, structuralismul este printre puținele abordări din filosofia științei care se convertește în cercetare fundațională: “Structuralismul este simultan abstract și concret: abstract în privința mijloacelor sale formale și a conceptului de teorie, concret în aplicațiile sale reconstructive, în prelucrarea materialului - teoriile științifice. El este din această cauză prima teorie a științei în același timp analitică și realistă” (W. Diederich 1981: 43). În această perspectivă a autodiferențierii interne a structuralismului ca urmare a implicării lui în cercetarea fundațională, vom indica în continuare câteva modificări necesare ale “formeii lui canonice”.

Prima modificare a metateoriei structuraliste este cerută de necesitatea introducerii în formalism (în nucleul teoriei) a grupurilor de simetrie și a principiilor de invarianță corelate. Deși luarea în considerare a grupurilor de operații (transformări) ce caracterizează teoriile complexe de înalt grad de abstracție a fost unul din motivele pentru care “pre-structuralistul” Suppes propunea abandonarea reconstrucției teoriilor prin formalizare

standard (în logica de ordinul întâi) și caracterizarea nepropozițională, "extrinsecă" a lor prin clasa modelelor, singura care ne poate determina statutul unei teorii ca structură invariantă în raport cu anumite modele sau formulări (P. Suppes 1967:61), structuralismul a ezitat să-și extindă formalismul pentru a include în cadrul lui elementele care ar putea exprima acțiunile (operațiile) reglate de grupurile fundamentale și principiile de invarianță astfel generate. Se întâlnesc, este adevăat, în literatura structuralistă referiri la principiile de invarianță, există chiar o încercare a lui Sneed de a analiza semnificația invarianței pentru teoretizarea fizică (J. D. Sneed 1978), dar o tratare sistematică a invarianței și simetriei a fost propusă mult mai târziu (F. Mülholzer 1996). Motivele pentru care nici în sinteza lui Balzer, Moulines și Sneed, "manualul structuralismului" (W. Balzer, C. U. Moulines, J. D. Sneed 1987), nu se acordă o atenție specială acestor componente ale teoriilor (se consideră, în subsidiar, că ele ar putea fi tratate corespunzător prin reformularea structuralismului în termenii teoriei categoriilor) sunt multiple. Unii autori pun această neglijare a unui aspect fundamental al construcției teoretice pe seama "orientării empiriste a structuralismului" (F. Mülholzer 1996:191).

Într-adevăr, această orientare este exprimată de interesul principal al cercetărilor lui Sneed, acela de a caracteriza exact aserțiunile empirice ale teoriilor. Folosirea în acest scop a formei-Ramsey modificate a teoriilor continuă evident o preocupare care a caracterizat viziunea empirist-logică asupra teoriilor. Structuralismul n-a considerat principiile de invarianță ca o formă specială a legilor științifice, proprie unor teorii abstracte, și ca atare nu a fost direct interesat de semnificația lor ontologică, de faptul că ele conferă unei asemenea teorii proiectul ontologic, schița unei ontologii imanente. Ca urmare, în ciuda insistențelor lui Suppes, metateoria structuralistă nu a pus în evidență rolul teoremelor generale de reprezentare în caracterizarea structurii invariante și a vizei ontologice a teoriilor abstracte, a condițiilor obiectivității constructelor ei. Considerarea grupurilor fundamentale și a principiilor de invarianță și simetrie făcea necesar nu numai apelul

la o formă mai sofisticată și diferențiată a structurilor matematice (modele), de tipul celei propuse de grupul Bourbaki prin conceptul de “specie de structuri”, dar și tematizarea diferențelor formale și metodologice dintre diferitele tipuri de teorii implicate în edificarea unui program de cercetare ca și a complexității interpretării teoriilor. Încercarea lui Mülholzer de a include grupurile de simetrie în nucleul teoriilor reconstruite structuralist dă seama de o serie de particularități ale naturii teoriilor, puse în evidență de cercetarea fundațională a unor asemenea teorii cum sunt teoria generală a relativității mecanica cuantică și teoria cuantică a câmpului. În același timp, însă, așa cum subliniază și Mülholzer, considerarea grupurilor fundamentale și a simetriilor necesită o nouă analiză a ideii de lege științifică (un concept, în genere, neexplicat de structuralism) ca și a conceptului explicației teoretice prin introducerea explicită și definirea “explicației structurale”, elemente care depășesc deocamdată cadrul “notației canonice” a structuralismului. Este necesară, de asemenea, reformularea ideii de interpretare a teoriilor, distingându-se nivelurile și modalitățile procesului interpretării în cadrul unor ample programe teoretice fundamentale.

Această ultimă afirmație trimite la o modificare majoră a metateoriei structuraliste. Ea nu sugerează doar o extindere a mulțimii elementelor definitorii pentru “matricea” teoretizării, ci o reconsiderare a arhitectonicii teoriilor în ansamblul ei, vizând atât natura teoriilor cât și relațiile ce constituie complexe disciplinare. Teoriile-rețea sau teoriile-holon vor trebui reconstruite pe schema unui program teoretic, constituit dintr-o teorie-cadru, fundamentală (teorie abstractă de natură structurală), o serie de teorii mediatore (“modele intermediare”) și o familie corelată de teorii speciale. Această nouă “topologie” a arhitectonicii teoretizării indică, în primul rând, necesitatea distingerii unor tipuri de teorii implicate în edificarea programului, cu structuri logice, și metodologii diferite, cu funcții specifice. În “topul” programului se va situa o teorie-cadru de posibilitate, o teorie abstract-structurală, “necategorică”,

capabilă de a determina multiple linii de evoluție, cu funcție preponderent unificatoare și organizatoare. Pasul următor al reconstrucției va fi redefinirea, în cadrul rețelei teoretice, a relațiilor intra- și interteoretice, astfel încât acestea să țină seama de “neomogenitatea” epistemologică a nivelurilor programului teoretic. Relațiile de reducere, extindere, specializare sau teoretizare vor trebui concepute ca având loc nu doar între “teorii coplanare”, de aceeași “specie”, ci și între teorii cu structuri și funcții diferite, ținând de niveluri diferite ale construcției programului științific. În această ordine de idei, am propus în alte lucrări ideea mai generală a “extinderii constructive” (cu conversa ei, “subsumpția transcendentă”), ca un nou cadru de redefinire (“renormare”) a relațiilor interteoretice, ca mod de a determina raportul teoriei fundamentale cu teoriile speciale ale programului, teorii constituite prin intervenția unor teorii mediatore (sau modele intermediare, cum solicită R. I. G. Hughes, N. Cartwright ș. a.). Această “relație” dă seama mai bine de arhitectonica programului științific, dar mai ales de caracterul constructiv, nu doar logic-deductiv al demersului metodologic implicat în “desfășurarea structurilor abstracte”, cum definea Heisenberg evoluția unor programe fundamentale în știință.

Asemenea completări ale metateoriei structuraliste sunt determinate, în primul rând, de încercarea de a da seama în această modalitate de reconstrucție a științei de specificul teoriilor fundamentale din cunoașterea contemporană așa cum apare el îndeosebi în cercetările fundamentale. Acest specific a fost indicat de mulți teoreticieni contemporani în reflecțiilor lor asupra unor programe de cercetare. Vom aduce un singur exemplu, pornind de la analiza lui S. Feferman a programului teoriei generale a recursiei: “Pentru a concludă într-o notă mai pozitivă dar mai speculativă, consider că se poate argumenta că - oricare ar fi afirmația unei teorii <fundamentale> despre mecanismul de bază subiacent al unor procese sau sisteme tehnologice - este necesar, pentru construirea și utilizarea acestora, să

le gândim la diferite niveluri conceptuale și cu variate forme modulare de organizare, adică trebuie să le gândim în termeni structurali. Istoria <oracolului> lui Turing și semnificația lui pentru calculabilitatea reală este un singur exemplu dintre multe altele al acestui caracteristic *modus operandi* al inteligenței umane” (S. Feferman 1992:343).

Bibliografie

1. W. Balzer, C. U. Moulines, J. D. Sneed 1987, *An Archtctonic for Science*, The Structuralist Program, Reidel, Dordrecht.
2. P. Bernays 1967, David Hilbert, în P. Edwards (ed.), *The Encyclopedia of Philosophy*, vol. 3, p. 97, New York, Macmillan.
3. W. Diederich 1981, *Strukturalistische Rekonstruktionen*, Braunschweig, Vieweg.
4. S. Feferman 1992, *Turing's <Oracle>: From Absolute to Relative Computability - and Back*, în J. Echeveria, A. Ibarra, Th. Morman (eds.), *The Space of Mathematics*, Berlin, W. De Gruyter.
5. B. C. van Fraassen 1987, *The Semantic Approach to Scientific Theories*, în N. J. Neressian (ed.), *The Process of Science: Contemporary Philosophical Approaches to Understanding Scientific Practice*, Dordrecht, Nijhoff.
6. Thomas S. Kuhn, *The Road Since Structure: Philosophical Essays, 1970-1993*, With an Autobiographical Interview, Chicago, University of Chicago Press.
7. F. Mülholzer 1996, *Symmetry and Invariance*, în W. Balzer, C. U. Moulines (eds.), *Structuralist Theory of Science*, Focal Issues, New Results, Berlin, W. De Gruyter.
8. C. U. Moulines 1996, *Structuralism: The Basic Ideas*, în W. Balzer, C. U. Moulines (eds.), *Structuralist Theoriy of Science*.
9. W. Sellars 1956/2000, *Empiricism and the Philosophy of Mind*, în H. Feigl, M. Scriven (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 1. (retipărit ca volum independent, Harvard University Press, 2000).
10. J. D. Sneed 1971, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht, Reidel.
11. J. D. Sneed 1977, *Quantities as Theoretical with Respect to Qualities, A Ramsey Sentence Approach to Fundamental Measurement*, "Epistemologia" II, 215-251.
12. J. D. Sneed 1978, *Theoretization and Invariance Principles*, "Acta Philosophica Fennica" vol. XXX, Issues 2-4, 130-179.
13. J. D. Sneed 1983, *Structuralism and Scientific Realism*, "Erkenntnis" vol. 19, 343-370.

14. W. Stegmüller 1973, *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*, Berlin, Springer.
15. W. Stegmüller 1979, *The Structuralist View of Theories*, Berlin, Springer.
16. P. Suppes 1967, *What is a Scientific Theory?* in S. Morgenbesser (ed.), *Philosophy of Science Today*, New York, Basic Books.
17. P. Suppes 1988, *Representation Theory and the Analysis of Structure*, "Philosophia Naturalis", vol. 22, 254-268.
18. R. Toretti 1999, *The Philosophy of Physics*, Cambridge, Cambridge University Press.

LOGICA PROPOZIȚIILOR INDEXATE

Adrian Miroiu

Propozițiile indexate sunt de genul: "În București, cea mai înaltă clădire este Hotelul Intercontinental", "Pe 22 decembrie 2001 a nins", "Ion scrie o poezie" etc. – indexul fiind un loc, un moment de timp sau o persoană. Se pot formula și propoziții mai dificile, precum: "Aici e senin", "Ieri a nins" sau "Eu scriu o poezie"; dificultatea vine din aceea că indexul pe care îl cuprind – expresiile "aici", "ieri", "eu" – nu își păstrează neapărat aceeași referință în propoziții diferite. În cele ce urmează mă voi referi la două tipuri de astfel de propoziții. Primele sunt cele indexate relativ la lumi, de forma:

(1) În lumea actuală, Quine este un filosof important.

În sensul său primar expresia "în lumea actuală" indică o lume posibilă, aceea care, spre deosebire de celelalte lumi, are proprietatea de a fi actuală. Să observăm însă că (1) este un caz special de propoziție indexată relativ la lumi precum:

(2) În lumea w , Quine este un filosof important.

Cel de-al doilea tip de propoziții pe care le voi avea în vedere sunt cele care cuprind datări, de forma:

(3) Pe 22 decembrie 2001 a nins în București.

sau

(4) Acum ninge în București.

Motivul pentru care voi studia logica propozițiilor de aceste tipuri este acela că ele fac posibile situații "referențiale": este posibil să ne întrebăm dacă o propoziție ca (1) sau (2) este adevărată sau nu în lumea actuală sau într-o lume w' , deci dacă, de

exemplu, admitem că:

(5) În lumea w , este adevărat că, în lumea actuală, Quine este un filosof important.

Altfel zis, discursul despre lumile posibile se poate aplica lui însuși: căci vrem să analizăm în termenii lumilor posibile propoziții despre lumile posibile însele.

Tot așa, are sens să ne întrebăm dacă o propoziție datată este sau nu adevărată la un anumit moment de timp. Bunăoară, admitem că au sens propozițiile:

(6) Pe 20 decembrie 2001 era adevărat că pe 22 decembrie 2001 va ninge în București.

(7) Pe 24 decembrie 2001 este adevărat că pe 22 decembrie 2001 a nins în București.

Dar, așa cum știm, propozițiile (6) și (7) ridică probleme grave din punct de vedere filosofic. Căci să presupunem că propoziția (3) este adevărată, așadar că e adevărat că pe 22 decembrie 2001 a nins în București. Atunci propoziția (7) este de cele mai multe ori acceptată nu doar ca adevărată, ci ca adevărată într-un sens mai tare (într-un anume fel, ca necesar adevărată): dacă ceva s-a întâmplat, atunci nimeni (nici măcar Dumnezeu) nu poate să facă așa încât acel ceva să nu se fi întâmplat. Pe de altă parte, însă, presupunând iarăși că propoziția (3) este adevărată, propoziția (6) ridică dificultăți uriașe (problema fatalismului logic sau teologic). Căci, dacă era deja adevărat pe 20 decembrie 2001 că va ninge peste două zile în București, atunci acea ninsoare era logic sau teologic determinată – și deci evenimentul respectiv nu avea cum să mai poată fi făcut să nu se întâmple. (Dacă propoziția datată privește o acțiune umană, atunci problema care răsare e aceea că acțiunile noastre sunt toate determinate și deci că nu suntem liberi – și, mai grav, nici responsabili – în ceea ce facem.)

În cele ce urmează voi arăta cum se poate construi logica acestor propoziții indexate. Mă voi opri asupra propozițiilor indexate relativ la lumi. Rezultatele prezentate vor fi formale¹.

¹ Aceste rezultate au fost publicate în românește în cartea mea *Construcție formale*, Editura Trei, București, 2001. Aici le redau într-o formă diferită,

Vreau totuși să subliniez, deși pe scurt, semnificația lor filosofică. În primul rând, logica definită este cea care, după părerea mea, surprinde acele principii care exprimă principalele proprietăți ale propozițiilor indexate. Ea poate fi utilizată pentru a aborda teme de mare semnificație filosofică, precum cea a existenței, a esenței, a argumentului ontologic pentru existența lui Dumnezeu². În al doilea rând, și cu siguranță polemic, susțin că aceste rezultate atenționează asupra complexității structurii lumilor posibile. Nu doar că ele sunt mult mai bogate decât se consideră de obicei³, dar au o structură extrem de complexă: o lume posibilă spune nu doar cum sunt faptele, ci și cum arată (alte) lumi posibile. (Uneori ele vorbesc despre ele însele – și construiesc imagini ale lor și ale relațiilor lor cu alte lumi.)

1. Logica de bază a lumilor posibile

Fie un limbaj $\mathcal{L}$ care cuprinde o mulțime infinit numărabilă S de litere-propoziție S, S', S'' etc, și simbolurile logice $\neg$ și $\vee$. În plus, presupunem că $\mathcal{L}$ conține o mulțime infinită W de simboluri pentru lumi w, w', w'' etc. Propozițiile lui $\mathcal{L}$ sunt elementele celei mai mici mulțimi care conține:

- (i) fiecare literă-propoziție;

accentuând asupra temeiurilor pentru care o anumită logică este preferată. Teorema centrală de completitudine are o demonstrație nouă, în care fac apel la modelele canonice.

² Am cercetat pe larg unele dintre acestea în *Argumentul ontologic*, Editura ALL, București, 2001, cap. V.

³ Mai mult, chiar acea bogăție care mie îmi pare nesatisfăcătoare este considerată de mulți filosofi ca prea luxoasă; căci, se argumentează, e prea mult să susținem că lumile posibile nu lasă nimic nedecis: pentru orice întrebare pe care o putem pune, există întotdeauna un răspuns - da sau nu. Fiindcă, într-adevăr, pentru fiecare propoziție φ și fiecare lume w , fie φ este adevărată în w , fie $\neg\varphi$ este adevărată în w .

(ii) $\varphi \vee \psi$, ori de câte ori φ și ψ sunt în ea;

(iii) $\neg \varphi$ și $w\varphi$, ori de câte ori φ este în ea și $w \in W$.

Pare intuitiv să impunem următoarele condiții asupra comportamentului propozițiilor indexate relativ la lumi:

1.1. $\neg w\varphi \equiv w\neg\varphi$

1.2. $w(\varphi \vee \psi) \equiv (w\varphi \vee w\psi)$

1.3. Dacă $\vdash \varphi$, atunci $\vdash w\varphi$, pentru fiecare $w \in W$.

Fie BW (logica de bază a lumilor posibile) logica care are ca axiome toate tautologiile, (1.1), (1.2) și care este închisă după regulile detașării și (1.3). Logica BW este logica în care, așa cum vom vedea, reflectarea unei lumi în alta este un concept central. Să observăm că (1.1) - (1.3) mimează în limbajul nostru $\exists$ condițiile standard ce se impun în descrierea comportamentului lumilor posibile: orice lume posibilă este consistentă (în nici o lume posibilă o propoziție și negația ei nu pot fi adevărate concomitent); și fiecare lume posibilă este maximală (oricare ar fi o propoziție, ea sau negația ei trebuie să fie adevărată). Într-adevăr, consistența este exprimată de (1.1). Apoi, din tautologia

1.4.1. $\varphi \vee \neg \varphi$

obținem:

1.4.2. $w(\varphi \vee \neg \varphi)$ (din 1.3)

1.4.3. $w\varphi \vee w\neg\varphi$ (din 1.2)

și deci w este maximală. Dacă definim ceilalți conectori logici în mod uzual, următoarele rezultate se demonstrează ușor:

1.5.1. $w(\varphi \wedge \psi) \equiv (w\varphi \wedge w\psi)$

1.5.2. $w(\varphi \rightarrow \psi) \equiv (w\varphi \rightarrow w\psi)$

⁴ Situația este de fapt mai complicată. Pentru fiecare $w \in W$, trebuie mai întâi să construim un operator $\langle w \rangle$, însemnând: în lumea w ... Atunci, dacă φ este o propoziție, și $\langle w \rangle \varphi$ trebuie să fie o propoziție. Dar, deoarece w și $\langle w \rangle$ sunt corelate biunivoc, voi ignora această complicație.

$$1.5.3. w(\varphi \equiv \psi) \equiv (w\varphi \equiv w\psi)$$

Din punct de vedere semantic, un model al lui BW este un triplet $\mathfrak{X} = \langle \Pi, \models, F \rangle$ unde Π este o colecție de "lumi posibile" τ, τ', τ'' , etc, F este o funcție $(W \times \Pi) \rightarrow \Pi$, iar relația $\models$ este definită prin:

$$1.6.1. \text{ Dacă } \varphi \in S, \text{ fie } \tau \models \varphi, \text{ fie } \tau \models \neg \varphi.$$

$$1.6.2. \tau \models \neg \varphi \text{ ddacă}^5 \text{ nu are loc } \tau \models \varphi.$$

$$1.6.3. \tau \models \varphi \vee \psi \text{ ddacă } \tau \models \varphi \text{ sau } \tau \models \psi.$$

$$1.6.4. \tau \models w\varphi \text{ ddacă } F(w, \tau) \models \varphi.$$

O propoziție φ este adevărată în $\mathfrak{X}$, și scriem $\mathfrak{X} \models \varphi$, ddacă pentru fiecare $\tau \in \Pi$, $\tau \models \varphi$, și este BW-validă ddacă este adevărată în fiecare model al lui BW. Voi scrie $\models_{BW} \varphi$ în acest caz. Dar, ori de câte ori nu există pericolul vreunei confuzii, voi omite indexarea. Intuiția din spatele definiției lui F și (1.6.4) este următoarea: fiecare lume posibilă din W -colecția noastră este corelată, relativ la fiecare τ , cu o "lume posibilă" $F(t, \tau) = \tau'$ din Π -colecția noastră. Când o propoziție φ este adevărată la lumea τ' , propoziția $w\varphi$, adică propoziția că φ se întâmplă la w , este și ea adevărată la τ . Văzută din τ , "lumea posibilă" τ' arată precum w . Sau, altfel spus, τ' este reflectată ori oglindită în τ ca w .

Să notăm că colecțiile W și Π de lumi posibile trebuie să fie considerate separate. Nu avem nici un motiv să considerăm că elementele lor sunt aceleași, ori măcar că ele ar fi corelate în mod sistematic. Singurul lucru pe care îl știm până acum este că la fiecare lume τ , fiecare lume w reflectă (via funcția F) o lume posibilă τ' . Dar nu putem susține că w este exact τ' (nici că w este reflectarea aceleiași τ' în fiecare τ)!

Un lucru important de notat este că limbajul nostru $\mathfrak{S}$ permite iterarea propozițiilor indexate relativ la lumi. Acceptăm așadar propoziții precum: $ww'\varphi$, sau $ww'w''\varphi$, etc: la lumea w se

⁵ Voi scrie "ddacă" drept prescurtare pentru: dacă și numai dacă.

poate susține că la lumea w' se întâmplă φ , etc. Se poate verifica ușor că $\tau = ww'\varphi$ nu este în nici un mod dependentă de $\tau = w\varphi$ ori de $\tau = w'\varphi$.

Aici merită menționată o importantă teoremă a lui BW. Plecând de la (1.4.3) obținem:

$$1.7.1. w(w\varphi \vee w\neg\varphi)$$

$$1.7.2. w'w\varphi \vee w'w\neg\varphi$$

Or, (1.7.2) spune că la lumea posibilă w' fie are loc $w\varphi$, fie are loc $w\neg\varphi$; lumea posibilă w' oglindește pe w , adică ea creează în ea însăși o imagine completă a ceea ce se întâmplă la lumea w , în sensul că pentru fiecare propoziție φ , la lumea w' se susține fie că φ se întâmplă la lumea w , fie că $\neg\varphi$ se întâmplă la w . (Dar, din nou, nimic nu garantează că imaginea lui w din w' este adecvată, altfel zis că w este oglindită în w' așa cum ea este "în realitate".) Această idee poate fi exprimată într-un mod mai riguros prin:

1.8. (*Lema de oglindire*) Dacă Σ este o mulțime BW-maximal consistentă de propoziții din $\mathcal{S}$, atunci $\Sigma_w = \{\varphi: w\varphi \in \Sigma\}$, unde $w \in W$, este BW-maximal consistentă.

Demonstrație. Σ_w este BW-consistentă. Căci să presupunem că n-ar fi. Atunci pentru un ψ am avea atât $\psi \in \Sigma_w$ cât și $\neg\psi \in \Sigma_w$. Dar, conform definiției lui Σ_w , am avea atât $w\psi \in \Sigma$ cât și $w\neg\psi \in \Sigma$. Din (1.1), am avea de asemenea $\neg w\psi \in \Sigma$, iar aceasta ar contrazice faptul că Σ este BW-maximal consistentă. Apoi, Σ_w este BW-maximală. Să presupunem că n-ar fi așa. Atunci pentru un ψ nu s-ar obține nici $\psi \in \Sigma_w$ și nici $\neg\psi \in \Sigma_w$. Or, cum (1.4.3) este o teoremă a lui BW, $w\psi \vee w\neg\psi \in \Sigma$ și deci fie $w\psi \in \Sigma$, fie $w\neg\psi \in \Sigma$. Dar atunci am avea fie $\psi \in \Sigma_w$, fie $\neg\psi \in \Sigma_w$, ceea ce ar contrazice asumția noastră.

Să presupunem că Σ este o mulțime BW-maximal consistentă de propoziții ale lui $\mathcal{S}$. Atunci Σ conține descrițiile complete Σ_w a ceea ce se întâmplă la orice moment w . În plus, Σ_w conține o cerință maximală $\Sigma_{w'}$ a ceea ce se întâmplă la orice altă lume posibilă w' . Dar, desigur, nu avem nici un motiv să

presupunem că ceea ce Σ_w susține că se întâmplă la lumea w' este același lucru cu ce Σ_w susține că se întâmplă la momentul w' , ori cu ceea ce se întâmplă "realmente" la lumea posibilă w' , adică cu ceea ce Σ_w este într-adevăr. Sau, reformulând semantic, dacă $\tau = ww'\varphi$, adică $F(w, \tau) = w'\varphi$, atunci nu putem spune nimic de aici despre $\tau = w''w'\varphi$, adică $F(w'', \tau) = w'\varphi$, ori despre $\tau = w'\varphi$. Voi reveni la această chestiune în secțiunea următoare. Închei secțiunea aceasta cu un așteptat rezultat de completitudine:

1.9. $\vdash_{BW} \varphi$ ddacă $\models_{BW} \varphi$.

Demonstrație. Suficiența decurge imediat. Pentru a demonstra pe (1.1), fie $\mathfrak{K} = \langle \Pi, \models, F \rangle$ un model al lui BW, și fie $\tau \in \Pi$. Atunci: $\tau = \neg w\varphi$ ddacă nu are loc $\tau \models w\varphi$, ddacă nu are loc $F(w, \tau) = \varphi$, ddacă $F(w, \tau) \models \neg \varphi$, ddacă $\tau \models w\neg\varphi$. Pentru a demonstra pe (1.2) avem: $\tau \models w(\varphi \vee \psi)$ ddacă $F(w, \tau) \models \varphi \vee \psi$, ddacă $F(w, \tau) = \varphi$ sau $F(w, \tau) = \psi$, ddacă $\tau \models w\varphi$ sau $\tau \models w\psi$, ddacă $\tau \models w\varphi \vee w\psi$. În al treilea rând, să presupunem că (1.3) nu este validă. Atunci $\tau \models \varphi$ pentru toți τ , dar $\tau' = w\varphi$ nu are loc pentru un τ' . Așadar, $F(w, \tau') \models \varphi$ nu are loc. Dar $F(w, \tau') = \tau''$, și deci nu avem $\tau'' \models \varphi$ pentru un τ'' - contradicție.

Pentru a demonstra necesitatea lui (1.9), să presupunem că φ nu este BW-demonstrabilă. Atunci există un model $\mathfrak{K} = \langle \Pi, \models, F \rangle$ astfel încât pentru un $\tau \in \Pi$, $\tau \models \varphi$ nu are loc. Modelul va fi construit după cum urmează. Π este mulțimea tuturor mulțimilor BW-maximal consistente de propoziții din $\mathcal{S}$. Atunci dacă Σ este în Π , punem $F(w, \Sigma) = \Sigma_w$. Din (1.8) știm că Σ_w este de asemenea BW-maximal consistentă, și deci $\Sigma_w \in \Pi$. Mai departe, punem $\Sigma \models \varphi$ ddacă $\varphi \in \Sigma$, ori de câte ori φ este o literă-propoziție $\mathcal{S}$. Demonstrația că $\mathfrak{K}$ este un model pentru BW revine la a arăta că pentru toți φ , $\Sigma \models \varphi$ ddacă $\varphi \in \Sigma$. Singurul caz dificil este când $\varphi = w\psi$, pentru un ψ . Avem: $\Sigma \models w\varphi$ ddacă $F(w, \Sigma) = \Sigma_w \models \varphi$, ddacă $\psi \in \Sigma_w$, ddacă $w\psi \in \Sigma$. Într-adevăr, $\psi \in \Sigma_w$ implică $w\psi \in \Sigma$. Căci să presupunem că n-ar fi așa. Atunci conform definiției lui F și lemei de oglindire, ψ nu aparține lui Σ_w . Conversa rezultă prin simpla

aplicare a definiției lui $\mathcal{F}$. În sfârșit, cum φ nu este BW-demonstrabilă, $\{\neg\varphi\}$ este BW-consistentă. Deci poate fi extinsă la o mulțime RL1-maximală și consistentă Σ , iar $\neg\varphi \in \Sigma$, adică $\Sigma \models \varphi$ nu are loc. Dar Σ este un element al lui Π , ceea ce înseamnă că pentru un Σ , φ nu este adevărat în Σ , q.e.d.

2. Lumi posibile și modalitate

Să îmbogățim limbajul nostru cu un nou operator unar $\Box$. Vom obține astfel un nou limbaj $\mathcal{S}'$. O propoziție $\Box\varphi$ va însemna, intuitiv, că φ este necesară. Așa cum se obișnuiește, plecând de la operatorul necesității se poate defini cel al posibilității $\Diamond$. Formal, avem $\Diamond\varphi$ dacă și numai dacă $\neg\Box\neg\varphi$. Putem acum să construim o logică în care propozițiile modale de felul lui $\Box\varphi$ sau $\Diamond\varphi$ se combină cu cele indexate. Așa cum voi încerca să arăt, operatorii modali sunt foarte folositori în încercarea noastră de a studia logica propozițiilor indexate relativ la lumi. Acesta este și motivul pentru care mai jos vom investiga proprietățile logice ale operatorului modal $\Box$.

Pentru început, adăugăm la BW două noi axiome și două noi reguli:

$$2.1. \Box(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (\Box\varphi \rightarrow \Box\psi)$$

$$2.2. \Box\varphi \rightarrow w\varphi$$

$$2.3. \text{Dacă } \vdash \varphi, \text{ atunci } \vdash \Box\varphi$$

$$2.4. \text{Dacă } \vdash w\varphi \text{ pentru toti } w, \text{ atunci } \vdash \Box\varphi$$

Fie BWM logica modală obținută astfel. Un model pentru BWM este o structură $\mathcal{C} = \langle \Pi, \models, \mathcal{F} \rangle$. Aici Π și $\mathcal{F}$ sunt definite ca mai înainte. Definiția lui $\models$ trebuie să fie extinsă la cazurile în care este implicat operatorul $\Box$. Ideea intuitivă este că o propoziție φ este necesară într-o lume τ dacă și numai dacă în τ propoziția că φ este adevărată în w este adevărată pentru orice lume w :

1.6.5. $\tau = \Box\varphi$ ddacă $\tau = w\varphi$ pentru fiecare w .

Completitudinea lui BWM este imediată:

2.5. $\vdash_{\text{BWM}} \varphi$ ddacă $\models_{\text{BWM}} \varphi$.

Pentru suficiență trebuie să arătăm că (2.1) - (2.4) sunt adevărate în $\mathfrak{C}$. Ca exemplu, mă voi opri asupra lui (2.3). Fie $\tau = \varphi$ pentru fiecare τ . Atunci, din (1.3), obținem $\tau = w\varphi$ pentru fiecare w , și deci $\tau = \Box\varphi$, din (1.6.5). Să presupunem, invers, că φ nu este BWM-demonstrabilă. Voi arăta ca există un model $\mathfrak{C}$ al lui BWM astfel încât φ nu este adevărată în $\mathfrak{C}$. Procedura este analoagă celei folosite în secțiunea I în cazul demonstrației pentru BW. Așadar, în $\mathfrak{C} = \langle \Pi, \models, F \rangle$, Π este mulțimea tuturor mulțimilor BWM-maximale și consistente Σ de propoziții ale lui $\mathcal{S}$; F este definită prin: $F(w, \Sigma) = \Sigma_w$; și vom pune $\Sigma = \varphi$ ddacă $\varphi \in \Sigma$, pentru toți $\varphi \in \mathcal{S}$. Avem nevoie să examinăm propozițiile de forma $\Box\varphi$. Trebuie să demonstrăm că:

2.6.1. Dacă $\Sigma = \Box\varphi$, atunci $\Box\varphi \in \Sigma$.

2.6.2. Dacă $\Box\varphi \in \Sigma$, atunci $\Sigma = \Box\varphi$.

Pentru (2.6.1), să observăm că $\Sigma = \Box\varphi$ ddacă $\Sigma = w\varphi$ pentru toți w (din 1.6.5), ddacă $w\varphi \in \Sigma$ pentru toți w (din pasul inductiv); atunci $\Box\varphi \in \Sigma$ (prin regula (2.4)). Pentru (2.6.2), avem: întrucât $\Box\varphi \in \Sigma$, atunci din (2.2) rezultă că $w\varphi \in \Sigma$ pentru toți w ; atunci $\Sigma = w\varphi$ pentru toți w (din pasul inductiv), de unde $\Sigma = \Box\varphi$, conform definiției (1.6.5).

În final, dacă φ nu este BWM-demonstrabilă, mulțimea $\{\neg\varphi\}$ este consistentă și poate fi extinsă la o mulțime BWM-maximală și consistentă Σ de propoziții ale lui $\mathcal{S}$, și cum $\neg\varphi \in \Sigma$, nu este adevărat că $\Sigma = \varphi$.

Definiția a ceea ce înseamnă că o propoziție $\Box\varphi$ este adevărată la o lume posibilă $\tau \in W$ pare să difere de tratarea uzuală a operatorului $\Box$. Într-adevăr, în mod obișnuit se introduce o relație R de "accesibilitate" între lumile posibile: $R(\tau, \tau')$ înseamnă că din τ' este văzută sau este accesibilă lumea τ . În locul lui (1.6.5) avem:

1.6.6. $\tau \models \Box \varphi$ ddacă $\tau \models \varphi$ pentru toți τ' astfel încât $R(\tau, \tau')$.

Pornind de la (1.6.5) putem, totuși, să facem apel la un truc elementar pentru a obține ceva similar cu aceasta. Să notăm că următoarele cinci expresii sunt echivalente (pentru a scurta argumentul, ele vor fi expuse formal):

$$(2.7.1) \tau \models \Box \varphi \equiv (\forall w) \tau \models w \varphi$$

$$(2.7.2) \tau \models \Box \varphi \equiv (\forall w) F(w, \tau) \models \varphi$$

$$(2.7.3) \tau \models \Box \varphi \equiv ((\forall w)(\forall \tau')(F(w, \tau) = \tau' \rightarrow \tau' \models \varphi))$$

$$(2.7.4) \tau \models \Box \varphi \equiv ((\forall \tau')((\forall w)(F(w, \tau) = \tau' \rightarrow \tau' \models \varphi))$$

$$(2.7.5) \tau \models \Box \varphi \equiv ((\forall \tau')((\exists w)F(w, \tau) = \tau' \rightarrow \tau' \models \varphi))$$

Antecedentul părții drepte a expresiei (2.7.5) este $(\exists w)F(w, \tau) = \tau'$. Această expresie stă pentru o relație, s-o notăm cu R , între τ' și τ . Relația $R(\tau', \tau)$ are loc ddacă τ' este reflectat în mod adecvat în τ ca o lume posibilă w . Căci fiecare propoziție φ este adevărată în lumea τ' ddacă există o lume w astfel încât este adevărat la lumea posibilă τ că φ are loc la w . Astfel putem înlocui pe (1.6.5) prin:

1.6.5.1. $\tau \models \Box \varphi$ ddacă $\tau \models \varphi$ pentru toți τ' astfel încât $R(\tau', \tau)$.

Avantajul introducerii relației de accesibilitate R pe mulțimea Π de lumi posibile este că putem formula, folosind rezultate binecunoscute, logica operatorului $\Box$, concentrându-ne asupra proprietăților lui R . Un prim exemplu este prezentat de teorema următoare:

2.8. (Inexistența elementului maximal) $(\forall \tau)(\exists \tau') R(\tau, \tau')$.

Demonstrație. Din (2.2) avem ambele: $\Box \varphi \rightarrow w \varphi$ și $\Box \neg \varphi \rightarrow w \neg \varphi$, iar de aici $(\Box \varphi \wedge \Box \neg \varphi) \rightarrow (w \varphi \wedge w \neg \varphi)$. Cum, potrivit (1.1) și (1.5.1), consecventul expresiei anterioare este fals, obținem:

2.9. $\Box \varphi \rightarrow \neg \Box \neg \varphi$,

Voi arată că condiția semantică corespunzătoare lui (2.9) este proprietatea lui R de a nu avea nici un element minimal. Pentru a

face aceasta, voi apela la metoda substituției⁶. Traducerea de ordinul doi a lui (2.9) este:

$$(\forall P)(\forall \tau)((\forall \tau')(R(\tau, \tau') \rightarrow P(\tau')) \rightarrow (\exists \tau')(R(\tau, \tau') \wedge P(\tau')))$$

Substituind $P(*)$ prin $* < \tau'$ obținem:

$$(\forall \tau)((\forall \tau')(R(\tau, \tau') \rightarrow R(\tau, \tau')) \rightarrow (\exists \tau')(R(\tau, \tau') \wedge R(\tau, \tau')))$$

adică exact (2.8).

3. Modele oglindă

Pesemne că cititorul se va fi mirat că până în acest moment am făcut apel la două colecții de lumi posibile – anume W și Π – fără să ne punem deja întrebarea cum pot fi ele corelate. Primele lumi posibile sunt considerate sintactic, atunci când construim limbajul formal în care producem propoziții indexate. Celelalte sunt postulate semantic, atunci când formulăm condițiile de validitate. Cum se corelează ele (dacă în genere se pot corela)? Cel mai simplu ar fi să considerăm următoarea alternativă: construim în metalimbaj (în limbajul în care construim semantica pentru limbajul S) traduceri pentru elementele lui W și lucrăm cu ele ca lumi postulate semantic. Nu e totuși posibil să facem astfel: căci de ce ar trebui să fie exact aceste lumi cele de care avem nevoie? Și, chiar dacă ar fi astfel, cum putem fi siguri că lucrurile stau așa?

În această secțiune voi încerca să ofer un răspuns acestei probleme. Ideea este aceea de a formula o logică modală $BWM1$ cu proprietatea că:

3.1. $\vdash_{BWM1} \varphi$ dacă φ este adevărată în toate modelele $\mathfrak{G} = \langle \Pi, =, F \rangle$ ale lui $BWM1$ în care lumile posibile din W și cele din Π sunt corelate biunivoc.

⁶ Vezi J. van Benthem, "Correspondence Theory", în D. Gabbay, F. Guenther (eds.), *Handbook of Philosophical Logic*, vol. II, D. Reidel, Dordrecht, 1984, pp. 167 - 247.

Logica noastră BWM1 rezultă prin adăugarea la BWM a două axiome și a unei reguli (voi discuta la sfârșitul acestei lucrări motivele pentru care exact acestea sunt acceptate aici):

$$3.2. \Box\varphi \rightarrow \Box\Box\varphi$$

$$3.3. \Box\Box\varphi \rightarrow \Box\varphi$$

$$3.4. \text{Dacă } \vdash \Box\varphi, \text{ atunci } \vdash \varphi.$$

Calcule uzuale arată că aceste expresii definesc proprietăți importante ale relației R :

$$3.2.1. (\text{tranzitivitatea}) \text{ Dacă } R(\tau, \tau') \text{ și } R(\tau', \tau''), \text{ atunci } R(\tau, \tau'').$$

$$3.3.1. (\text{densitatea}) \text{ Dacă } R(\tau, \tau'), \text{ atunci există un } \tau'' \text{ astfel încât } R(\tau, \tau'') \text{ și } R(\tau'', \tau').$$

$$3.4.1. (\text{inexistența elementului minimal}) (\forall \tau)(\exists \tau') R(\tau', \tau).$$

Așadar, în BWM1 relația R este tranzitivă, densă și (ținând cont și de (2.8)) fără element minimal și nici maximal.

Voi demonstra pentru început două leme. Pentru fiecare model $\mathbb{C}$ al lui BWM1 și fiecare lume posibilă din Π , au loc:

$$3.5. \text{Pentru fiecare } w \text{ și } w' \text{ există un } w'' \text{ astfel încât pentru toți } \varphi, \tau \models ww'\varphi \text{ ddacă } \tau \models w''\varphi.$$

$$3.6. \text{Pentru fiecare } w \text{ există } w' \text{ și } w'' \text{ astfel încât pentru fiecare } \varphi, \tau \models w\varphi \text{ ddacă } \tau \models w'w''\varphi.$$

Demonstrația lui (3.5). Știm că (3.2) exprimă faptul că R este tranzitivă: dacă există un w_1 astfel încât $F(w_1, \tau) = \tau'$ și există un w_2 astfel încât $F(w_2, \tau') = \tau''$, atunci există un w_3 astfel încât $F(w_3, \tau) = \tau''$. Să presupunem că pentru anumite lumi w_1 și w_2 avem $F(w_1, \tau) = \tau'$ și $F(w_2, \tau') = \tau''$. Atunci pentru toate propozițiile φ avem: $\tau \models w_1\varphi$ ddacă $\tau' \models \varphi$ și $\tau' \models w_2\varphi$ ddacă $\tau'' \models \varphi$. Din definiția lui $\models$ pentru propozițiile de forma $w\psi$, avem de asemenea: $\tau \models w_1w_2\varphi$ ddacă $\tau'' \models \varphi$. Cum R este tranzitivă, obținem că există t_3 astfel încât pentru toți $\varphi, \tau \models t_3\varphi$ ddacă $\tau'' \models \varphi$. Deci pentru toți $\varphi, \tau \models w_1w_2\varphi$ ddacă $\tau \models w_3\varphi$. Ori, altfel spus, pentru fiecare w_1 și w_2 există un w_3 astfel încât

pentru toți φ , $\tau = w_1 w_2 \varphi$ ddacă $\tau = w_3 \varphi$.

Demonstrația lui (3.6). Din nou, știm că (3.3) definește densitatea relației R : dacă $R(\tau, \tau')$, atunci există un τ'' astfel încât $R(\tau, \tau'')$ și $R(\tau'', \tau')$. Acum, fie w o lume din W și τ o lume din Π . Atunci există un τ' astfel încât $F(w, \tau) = \tau'$. Vom avea $R(\tau, \tau')$. Dată fiind definiția lui $\models$ avem pentru toți φ , $\tau = w\varphi$ ddacă $\tau' = \varphi$. Cum R este densă, există τ'' , w' și w'' astfel încât $F(w', \tau) = \tau''$ și $F(w'', \tau') = \tau''$. Atunci pentru toți φ , $\tau = w'\varphi$ ddacă $\tau'' = \varphi$ și $\tau'' = w''\varphi$ ddacă $\tau' = \varphi$. Deci pentru toți φ , $\tau = w'w''\varphi$ ddacă $\tau' = \varphi$. Din aceasta și din: $\tau = w\varphi$ ddacă $\tau' = \varphi$, obținem: $\tau = w'w''\varphi$ ddacă $\tau = w\varphi$.

Fie acum $\Gamma = \langle \Pi, \models, F \rangle$ modelul canonic pentru $BWM1$. Γ va fi definit astfel: a) Π este mulțimea tuturor mulțimilor Σ de propoziții care sunt $BWM1$ -maximal consistente; b) dacă φ este o literă propoziție, atunci $\Sigma = \varphi$ ddacă $\varphi \in \Sigma$; c) $F(t, \Sigma) = \Sigma'$ ddacă $\{\varphi: t\varphi \in \Sigma\} = \Sigma'$ (faptul că Σ' este o mulțime $BWM1$ -maximal consistentă de propoziții este o consecință a lemei (1.8) de oglindire). Plecând de la F , relația de accesibilitate R poate fi definită în mod obișnuit, prin: $\Sigma \prec \Sigma'$ ddacă $(\exists w)(F(w, \Sigma) = \Sigma')$. Pentru a demonstra că Γ este modelul canonic pentru $BWM1$ e necesar să arătăm că φ este o teoremă a lui $BWM1$ ddacă $\Sigma = \varphi$ pentru orice Σ din Γ . Pasul cel mai important e acela de a demonstra că $\Sigma = \varphi$ ddacă $\varphi \in \Sigma$ pentru toate propozițiile din limbajul nostru. Cazurile dificile sunt $\varphi = w\psi$, și $\varphi = \Box\psi$. Mai întâi, $\Sigma = w\psi$ ddacă $F(w, \Sigma) = \psi$, ddacă $\psi \in F(w, \Sigma)$, ddacă (potrivit definiției lui F) $w\psi \in \Sigma$. În al doilea rând, avem: $\Sigma = \Box\psi$ ddacă pentru orice Σ' , dacă $R(\Sigma, \Sigma')$, atunci $\Sigma' = \psi$; ddacă pentru orice Σ' , dacă $(\exists w)(F(w, \Sigma) = \Sigma')$, atunci $\psi \in \Sigma'$; ddacă pentru orice Σ' and w , dacă $F(w, \Sigma) = \Sigma'$, atunci $\psi \in \Sigma'$; ddacă pentru orice w , $w\psi \in \Sigma$. Să arătăm că $w\psi \in \Sigma$ pentru orice w ddacă $\Box\psi \in \Sigma$. Partea care exprimă necesitatea din această demonstrație este o consecință directă a lui (2.2); partea care exprimă suficiența rezultă dacă facem apel la (2.4): într-adevăr, mulțimea $\{\neg\Box\psi, w\psi: w \in W\}$ este

inconsistentă, și deci nu este inclusă în Σ ; ca urmare, va trebui să avem $\Box\psi \in \Sigma$.

Pentru orice Σ din Γ , să definim o structură $\Gamma_\Sigma = \langle \Pi(\Sigma), \models, F \rangle$ în felul următor: a) $\Pi(\Sigma)$ este mulțimea tuturor mulțimilor $\Delta(w) = \{\psi : w\psi \in \Sigma\}$ care sunt BWM1-maximal consistente; b) dacă φ este o literă propoziție, atunci $\Delta(w) \models \varphi$ dacă $\varphi \in \Delta(w)$; c) dacă $\Delta \in \Pi(\Sigma)$ și $\Delta' \in \Pi(\Sigma)$, atunci $F(\iota, \Delta) = \Delta'$ dacă $\{\varphi : w\varphi \in \Delta\} = \Delta'$. Ideea este aceea de a demonstra că:

- 1) structurile Γ_Σ sunt modele ale lui BWM1 în care mulțimile W și $\Pi(\Sigma)$ de "lumi posibile" sunt biunivoc corelate. Voi spune că aceste structuri sunt modele oglindă ale lui BWM1; și
- 2) o propoziție φ este adevărată în modelul canonic Γ dacă ea este adevărată în toate modelele oglindă.

Pentru a demonstra propoziția (2) (de unde va decurge ușor și că (3.1) e adevărată) pasul crucial e acela de a proba că:

3.7. $\{\varphi\}$ este BWM1-consistentă dacă există un model oglindă $\Gamma_\Sigma = \langle \Pi(\Sigma), \models, F \rangle$ al lui BWM1 astfel încât φ este adevărată la o lume $\Pi(\Sigma)$ din el.

Să definim pe $\Gamma_\Sigma = \langle \Pi(\Sigma), \models, F \rangle$ precum mai sus. Evident, la această structură fiecare lume din W este unic corelată cu "lumea" $\Delta(w)$ din $\Pi(\Sigma)$. Pentru ca Γ_Σ să fie un model, trebuie să arătăm mai întâi că F este definită pentru orice w și Σ din Γ_Σ . Într-adevăr, să presupunem că $\Delta' = F(w, \Delta)$, cu $\Delta \in \Pi(\Sigma)$. Atunci, pentru orice ψ , $\psi \in \Delta'$ dacă $w\psi \in \Delta$. Însă, potrivit definiției lui $\Delta \in \Pi(\Sigma)$, avem, pentru un w' , $w'w\psi \in \Sigma$. Dar, întrucât (3.2) este o teoremă a lui BWM1, știm prin (3.5) că există o lume w'' din W astfel încât pentru orice ψ , $w''\psi \in \Sigma$ dacă $w'w\psi \in \Sigma$. Ca urmare, $\Delta' = \{\psi : w''\psi \in \Sigma\}$ e de asemenea un element al lui $\Pi(\Sigma)$.

Cititorul este invitat să verifice că într-adevăr Γ_Σ este un model al lui BWM1. Eu mă voi opri o clipă doar asupra regulii

(3.4): dacă $\vdash \Box \varphi$, atunci $\vdash \varphi$, fiindcă ea ridică o problemă specială. Să presupunem, într-adevăr, că pentru toate elementele $\Delta(w)$ din $\Pi(\Sigma)$ avem $\Box \varphi \in \Delta(w)$, dar că există un $\Delta'(w')$ astfel încât $\neg \varphi \in \Delta'(w')$. Atunci pentru fiecare w , $\Sigma \models w\varphi$. Ca urmare avem $\Sigma \models \Box \varphi$ și, dat fiind (3.2), $\Sigma \models \Box \Box \varphi$. Dar această susținere este echivalentă cu: pentru orice w și w' , $\Sigma \models ww'\varphi$. Într-adevăr, avem: $\Sigma \models \Box \Box \varphi$ ddacă pentru orice w , $\Sigma \models w\Box \varphi$; ddacă pentru orice w și Σ' , dacă $F(w, \Sigma) = \Sigma'$, atunci $\Sigma' \models \Box \varphi$; ddacă pentru orice w și Σ' , dacă $F(w, \Sigma) = \Sigma'$, atunci pentru orice w' , $\Sigma' \models w'\varphi$; ddacă pentru orice w și w' , $F(w, \Sigma) \models w'\varphi$; ddacă pentru orice w și w' , $\Sigma \models ww'\varphi$. Pe de altă parte, din $\Delta'(w') \models \neg \varphi$ obținem: $\Sigma \models w''\neg \varphi$. Așadar, avem: pentru orice w și w' , $\Sigma \models ww'\varphi$, dar $\Sigma \models w''\neg \varphi$, pentru un anume w'' . Însă de aici nu putem parveni la o contradicție, fiindcă nu putem face apel la (3.5); căci nu avem cum să fim siguri că w'' însăși este una dintre lumile pentru care are loc: $\Sigma \models w''\varphi$ ddacă $\Sigma \models ww'\varphi$, pentru o pereche w și w' de lumi posibile.

Putem merge însă mai departe dacă ne îndreptăm atenția către (3.3). Știm deja că această axiomă are un rol esențial în demonstrarea lui (3.6): pentru orice w există w' și w'' astfel încât pentru orice φ , $\Sigma \models w\varphi$ ddacă $\Sigma \models w'w''\varphi$. La ce revine aceasta la modelul oglindă Γ_Σ generat de Σ ? Ea este echivalentă cu: pentru orice $\Delta(w)$ există w' și $\Delta'(w')$ astfel încât $\Delta(w) \models \varphi$ ddacă $\Delta'(w') \models w''\varphi$, care la rândul ei este: pentru orice $\Delta(w)$ există $\Delta'(w')$ și w' astfel încât $F(w'', \Delta'(w')) = \Delta(w)$. Această condiție este (la Γ_Σ) echivalentă cu: pentru orice $\Delta(w)$ există o $\Delta'(w')$ astfel încât $R(\Delta'(w'), \Delta(w))$. Așa cum am văzut mai devreme, condiția că nu există un element maximal este exprimată de (3.4); or, axioma (3.3), care are loc la modelul canonic Γ , poate fi utilizată la modelele oglindă pentru a exprima regula (3.4)!

Să ne întoarcem acum la (3.7). Dacă $\{\varphi\}$ nu este BWM1-consistentă, atunci nu există nici o mulțime Σ de propoziții care este BWM1-maximal consistentă în modelul canonic astfel încât să avem $\varphi \in \Sigma$. Dar toate elementele mulțimilor $\Pi(\Sigma)$ în toate

modelele oglindă sunt mulțimi BWM1-maximal consistente de propoziții, și deci φ nu este adevărată la nici o lume din $\Pi(\Sigma)$. Invers, să presupunem că $\{\varphi\}$ este BWM1-consistentă; atunci, întrucât Γ este modelul canonic al lui BWM1, există o mulțime Σ de propoziții care este BWM1-maximal consistentă astfel încât $\varphi \in \Sigma$. Trebuie doar să arătăm că φ este adevărată la o lume din $\Pi(\Sigma)$. Dată fiind regula (3.4), există o Σ' astfel încât $R(\Sigma', \Sigma)$, altfel zis pentru o w , $F(w, \Sigma') = \Sigma$. Deoarece $\varphi \in \Sigma$, vom avea $w\varphi \in \Sigma'$. Însă atunci putem genera un model oglindă $\Gamma_{\Sigma'}$, și desigur că $\Sigma'(w) = \Sigma \in \Pi(\Sigma')$. Ca urmare, φ este adevărată la o Π -lume Σ într-un model oglindă⁷.

4. O justificare pentru BWM1

De ce am construit logica modală cu propoziții indexate BWM1 adăugând la BWM exact axiomele și regulile (3.2) – (3.4)? În această secțiune voi încerca să dau un răspuns acestei întrebări. Motivele pentru care am făcut apel la cele două axiome și la regula (3.4) sunt două. În primul rând, vrem să fim siguri că modelele oglindă sunt realmente modele, altfel zis în ele sunt adevărate toate teoremele logicii modale pe care o construim. În al doilea rând, vrem să fim siguri că avem teorema de completitudine; în particular, că propoziția (3.7) are loc.

Să începem cu prima chestiune: este o structură de felul lui $\mathfrak{C} = \langle \Pi, =, F \rangle$, în care lumile posibile din W și cele din Π sunt corelate biunivoc, și care este generată de o mulțime Σ de propoziții care este BWM1-maximal consistentă, realmente un model al lui BWM1? Că este aici o problemă am văzut deja: am văzut că nu

⁷ E important să notăm că, deoarece la modelele oglindă putem să corelăm întotdeauna o Π -lume $\Delta(w)$ cu o W -lume w , și *vice versa*, este posibil să simplificăm notația și să folosim doar W -lumi. Astfel, vom putea scrie, de ex., $w = w'\varphi$ în loc de $\Delta(w) = w'\varphi$, și $F(w, w) = w''$ în loc de $F(w, \Delta'(w')) = \Delta''(w'')$ etc.

este evident că o regulă care e validă la modelul canonic va fi validă neapărat și la modelele oglindă. De pildă, dacă vrem să acceptăm regula (3.4): dacă $\vdash \Box\varphi$, atunci $\vdash \varphi$, atunci nu putem să dovedim că ea e validă la modelele oglindă. Am văzut în secțiunea anterioară că, pentru a reuși acest lucru, e nevoie să acceptăm ca axiomă a logicii noastre BWM1 și axioma (3.3): $\Box\Box\varphi \rightarrow \Box\varphi$. Avem așadar o justificare condiționată pentru (3.3): ea trebuie admisă – dacă avem motive pentru a accepta regula⁸ (3.4) – pentru ca în modelele oglindă să fie validă (3.4).

Pe de altă parte, pentru ca $\mathfrak{G} = \langle \Pi, =, F \rangle$ să fie un model (oglină) al lui BWM1, trebuie să ne asigurăm că F este o funcție, adică pentru orice w din W și $\Delta(w')$ din Π , $F(w, \Delta(w'))$ este definită, și anume avem, pentru un w'' din W , $F(w, \Delta(w')) = \Delta(w'')$. Căci într-adevăr $F(w, \Delta(w'))$ este, prin lema de oglindire, o mulțime BWM1-maximal consistentă; însă trebuie să ne asigurăm că ea este de asemenea un element al lui Π , adică trebuie să fie de forma $\Delta(w'')$, pentru un anume w'' .

Să observăm că $F(w, \Delta(w'))$ este mulțimea tuturor acelor propoziții φ cu proprietatea că $w\varphi$ sunt în $\Delta(w')$; deci, dată fiind definiția structurii $\mathfrak{G} = \langle \Pi, =, F \rangle$ generate de mulțimea Σ de propoziții BWM1-maximal consistentă, $F(w, \Delta(w'))$ este mulțimea tuturor acelor propoziții de forma $w'w\varphi$ din Σ . Or, potrivit lemei (3.5), există un w'' astfel încât $F(w, \Delta(w'))$ este mulțimea tuturor acelor propoziții φ cu proprietatea că $w''\varphi$ sunt în Σ ; iar potrivit definiției lui $\mathfrak{G}$, $F(w, \Delta(w'))$ va fi exact $\Delta(w'')$. Nu mai avem decât să notăm că pentru a demonstra acest lucru am apelat la lema (3.5): or, ea se bazează pe acceptarea în BWM1 a axiomei (3.2).

Să trecem acum la constrângerile pe care ni le pune demonstrarea teoremei de completitudine (3.7). Voi arăta că ea solicită acceptarea lui (3.4); dar atunci, cum am văzut deja, va trebui să acceptăm și pe (3.3).

⁸ Voi arăta mai jos care sunt rațiunile care ne constrâng să adoptăm (3.4).

Cea mai mare dificultate în demonstrarea lui (3.7) e aceea de a arăta că, dacă $\{\varphi\}$ este BMW1-consistentă, atunci există un model oglindă $\mathfrak{C} = \langle \Pi, \models, F \rangle$ al lui BMW1 astfel încât φ este adevărată la o lume Π din el. Să presupunem deci că $\{\varphi\}$ este BMW1-consistentă. Atunci ea va putea fi extinsă la o mulțime care este BMW1-maximal consistentă; evident, vom avea $\varphi \in \Sigma$. Vom trebui să arătăm că există un model oglindă $\mathfrak{C} = \langle \Pi, \models, F \rangle$, astfel încât Σ să fie exact $\Delta(w)$, pentru un w anume.

Să plecăm de la regula (3.4). Cum am amintit deja, ea definește inexistența elementului minimal pentru relația R : $(\forall \tau)(\exists \tau') R(\tau', \tau)$. În cazul modelului canonic Γ înseamnă că, dată fiind mulțimea Σ , va exista o mulțime Σ' care este BMW1-maximal consistentă și pentru care avem $R(\Sigma', \Sigma)$. Ținând cont de definiția relației R , înseamnă că există o lume w din W astfel încât $F(w, \Sigma) = \Sigma$. Mai departe, prin definiția lui F , înseamnă că oricare ar fi propoziția φ , $\varphi \in \Sigma$ dacă și numai dacă $w \models \varphi$.

Acum, pornind de la Σ' vom genera un model oglindă $\mathfrak{C} = \langle \Pi, \models, F \rangle$. Să observăm că vom avea $\Delta(w) \in \Pi$. Dar, potrivit celor arătate mai sus, $\Delta(w) = \Sigma$ și deci $\Sigma \in \Pi$; în plus, $\varphi \in \Sigma$. Ca urmare, există un model oglindă al lui BMW1 în care propoziția φ e adevărată într-o lume⁹.

⁹ Să observăm că pentru a ajunge la acest rezultat avem la dispoziție și o altă soluție: anume aceea de a adăuga lui BMW, în locul lui (3.3) și (3.4), doar axioma:

$$\Box \varphi \rightarrow \varphi$$

(Se vede ușor că din această axiomă putem deduce ușor atât pe (3.3), cât și pe (3.4).) Un rezultat standard în semantica modală este acela că axioma de mai sus definește proprietatea de reflexivitate a relației R ; astfel, la modelul canonic avem: pentru orice Σ , $R(\Sigma, \Sigma)$. Iar aceasta revine, refăcând raționamentul expus mai devreme, la faptul că există o lume w în W astfel încât pentru orice φ , avem: $\varphi \in \Sigma$ dacă și numai dacă $w \models \varphi$. Ca urmare, la modelul oglindă generat chiar de Σ , avem $\Delta(w) = \Sigma \in \Pi$.

Cu aceasta am încheiat argumentul în favoarea acceptării expresiilor (3.2) – (3.4) în logica modală în care sunt admise propozițiile indexate la lumi posibile. Am obținut probabil¹⁰ cea mai slabă logică (BWM1) în care se poate demonstra o teoremă de completitudine de tipul lui (3.1): anume, prin apel numai la modele oglindă, în care cele două colecții de lumi posibile – cele adoptate sintactic și cele postulate semantic – sunt corelate între ele în mod biunivoc.

În această lucrare am preferat însă alternativa mai slabă. Din două motive: primul e acela că e preferabil să vedem ce se întâmplă dacă adoptăm condiții mai slabe. Al doilea este acela că, dacă încercăm să transferăm rezultatele de aici – așa cum am sugerat la începutul acestei lucrări că e posibil – în logica temporală, în care acceptăm și propoziții datate (indexate, așadar, relativ la momentele de timp), atunci relația R va fi în acel caz interpretată ca relație de precedență între momentele de timp: momentul t este anterior momentului t' . Or, este de dorit ca o asemenea relație să nu fie reflexivă.

¹⁰ Spun: "probabil" fiindcă nu am o demonstrație efectivă a acestei susțineri.

COMPLEXITATEA ÎN MEREOLOGIA TEMPORALĂ

Ioan-Lucian Muntean*

În materialul de față investigăm posibilitatea utilizării conceptului de complexitate în ontologia formală, mai precis în mereologia temporală. Ne vom raporta, pe de o parte, la dezbaterile filosofice legate de existența părților în timp și, pe de altă parte, la complexitate, termen asociat de obicei evoluției în timp a sistemelor neliniare, precum și teoriei computaționalismului. În ultima parte a materialului, vom încerca să folosim elemente de ontologie temporală formală pentru a ajunge la definiția complexității temporale investigând modul în care complexitatea poate fi asociată relației dintre părțile temporale.

1. Complexitatea *per se*?

Complexitatea se poate defini în termenii specifici teoriei computaționale. Există mai multe definiții care sunt în mare măsură echivalente. Dată fiind o clasă de probleme, complexitatea este definită în termeni de resurse necesare (timp de calcul și memorie alocată) pentru a duce la bun sfârșit operația de calcul ce rezolvă

* Facultatea de Filosofie, Universitatea București. E-mail: muntean@fil.unibuc.ro. Mulțumesc pe această cale profesorilor Mark Brown (Syracuse University, SUA), Mircea Flonta (Universitatea București), Ilie Pârvu (Universitatea București), Ted Sider (Syracuse University, SUA) și Peter Simons (Leeds University, Marea Britanie) pentru observații legate de redactarea acestui material.

respectiva problemă.¹ Într-un anumit sens, complexitatea este o măsură a extinderii în „timp” (numărul de pași ai unui algoritm) și „spațiu” (numărul de celule de memorie alocate), a rezolvării unei probleme, fie aceasta o problemă de computație sau o problemă de descriere. O definiție informațională a complexității pentru un obiect finit este datorată lui Kolmogorov: complexitatea este lungimea minimă a unei descrieri complete a unui sistem într-un limbaj dat, pentru care, de obicei, modelul standard este cel al mașinii Turing. În definiția complexității intră așadar, pe de o parte, „adâncimea logică” a unui algoritm (care ne dă timpul minim necesar pentru execuția completă a algoritmului) și, pe de altă parte, capacitatea de descriere completă a programului (resursele alocate în termeni de spațiu de memorie sau lungime de bandă, în cazul mașinii Turing). Pentru a defini complexitatea sunt necesare, pe de o parte, sistemul descris și, pe de altă parte, sistemul de descriere (în mod tradițional, mașina Turing). Complexitatea computațională este o măsură a descriptibilității și computabilității unui sistem finit într-un limbaj dat și într-un cadru de reguli date (care, în mod convențional, poate forma un algoritm).

Din punct de vedere istoric, implicațiile filosofice ale complexității sunt direct legate de evoluția mecanicii newtoniene și de probleme specifice de computabilitate legate de aceasta: problema celor trei corpuri, rezolvarea deviațiilor de la traiectorie a diferitelor planete etc. Termenul apare indirect în filosofia lui Leibniz, fiind folosit explicit în secolul al XVIII-lea pentru a descrie mișcarea mecanică (de exemplu la G. Maupertuis, J. Keill) și apoi în secolul al XIX-lea în corelație cu evoluția speciilor (C. Darwin). Totuși, se poate spune că Peirce a introdus pentru prima dată noțiunea de complexitate în filosofie:² pentru Peirce ea este legată de tendința naturii către noutate (*novelty*). Un sistem natural lăsat să evolueze liber va avea o evoluție din ce în ce mai complexă. Peirce prefigurează astfel noțiunea de entropie informațională dezvoltată în a doua jumătate a secolului al XX-lea. Termodinamica proceselor ireversibile apărută în anii '70, teoria informației și teoria haosului au condus la apariția unor dezbateri

filosofice noi legate de complexitate. Nu vom intra în detalii legate de aceste discipline noi, ci vom încerca să legăm conceptul de complexitate strict de ontologia temporală.

Se poate spune că, din punctul de vedere al semanticii limbajului natural, complexitatea este un predicat asociat mai degrabă proceselor decât obiectelor, fiind un atribut de ordinul al doilea. Ea nu se aplică direct obiectelor, ci modului în care ele sunt compuse, structurate, felului în care evoluează sau se manifestă, pot fi observate sau înțelese. Există mai multe încercări de a clasifica complexitatea. N. Rescher definește trei „moduri” de complexitate: cea epistemică, cea ontologică și cea funcțională.³ În ceea ce privește complexitatea ontologică, se poate vorbi de un aspect constituțional (numărul de elemente constitutive sau de componente) și de un unul taxonomic (varietatea elementelor constitutive). Complexitatea funcțională este de două tipuri: operațională (legată de varietatea numărului de moduri de operare sau de funcții) și cea nomică (ce caracterizează ansamblul legilor ce guvernează procesul respectiv). Deși un sistem poate fi considerat finit, atât în sensul compoziției sale ontologice, cât și al legilor cărora i se supune, el poate să fie infinit în ceea ce privește operațiile pe care le poate realiza.⁴ În articolul de față ne vom concentra asupra complexității temporale și nu vom intra în detalii legate de complexitatea epistemică sau nomică.

Alți autori resping complexitatea ontologică, considerând că ea este inaccesibilă și nu are nici o putere de predicție sau explicație. Dintr-o perspectivă „pragmatică”, B. Edmonds discută complexitatea doar prin relativizare la ansamblul „sistemul observat + observator + limbajul de descriere”⁵ respingând complexitatea „reală” a sistemului luat ca atare. În acest sens, definițiile computaționale ale complexității datorate lui Kolmogorov, Löfgren (1974), Chaitin (1976) sau Bennett (1990) pot fi toate încadrate în aceeași clasă: un sistem este cu atât mai complex cu cât sunt mai complexe și mai lungi calcularea, descrierea, interpretarea sau modelarea sa.

În materialul de față nu vom intra în dezbaterile legate de

existența unei complexități intrinseci a sistemelor, ci ne vom situa pe o poziție realistă, considerând că putem vorbi de o complexitate ce caracterizează evoluția în timp a unui sistem prin relațiile care există între diferitele părți temporale ale sale.

Vom începe discuția despre complexitatea temporală cu câteva elemente ale ontologiei formale ce sunt legate de existența în spațiu și timp.

2. Analogia între spațiu și timp

Analogia între spațiu și timp este frecvent utilizată în știință și filosofie, fiind de multe ori denumită, poate impropriu, „spațializarea timpului”, deoarece la nivelul reprezentării și la nivelul descrierii timpul poate fi spațializat. Mai precis, printr-o analogie „slabă”, descrierile relațiilor temporale se pot reduce la descrierile relațiilor spațiale. Fără a face vreun angajament fenomenologic, în cele ce urmează vom numi în mod convențional temporalitate „caracterul de a fi timp”, și spațialitate „caracterul de a fi spațiu”. Cu alte cuvinte, prin analogie, „temporalitatea” poate fi dedusă din „spațialitate”.⁶

Spațiul este mai accesibil intuiției decât timpul. Mai mult, se poate spune că reprezentarea timpului este dependentă de reprezentarea spațiului. Cunoaștem mai multe proprietăți ale spațiului. Geometria se bazează pe o intuiție foarte puternică a spațiului și a relațiilor mereologice spațiale. Dispunem de metode prin care relațiile spațiale pot fi descrise și conceptualizate. Este evident că mijloacele de a reprezenta spațiul sunt mult mai bogate decât cele folosite în cazul timpului.

Se poate spune că, până la stabilirea cadrelor teoretice ale relativității, spațiul și timpul erau concepute ca având naturi complet diferite. Criteriile de identificare a spațiului erau altele decât cele pentru timp. Dimensionalitatea spațiului ne poate conduce la ideea că timpul este mai sărac în proprietăți topologice.

Întrebările puse în legătură cu timpul erau asemănătoare cu cele ridicate în legătură cu spațiul: Este timpul o substanță? Este

dependent de relația pe care o are cu obiectele? Disputele privind substanțialismul sunt asemănătoare în cazul spațiului și timpului, chiar dacă sub anumite aspecte topologice ele diferă. Convenționalitatea este o altă asemănare între spațiu și timp: în cazul spațiului, ea a fost teoretizată înainte ca să fie postulată despre timp.

Încercarea de a corela spațiul și timpul este, sub anumite aspecte, îndreptățită. Ipoteza de la care se poate pleca este că există o uniformitate conceptuală între spațiu și timp, că putem trece de la spațiu la timp pe baza unei analogii. Nu se poate nega faptul că, în încercarea de a stabili un cadru conceptual pentru teoria timpului, spațiul este primul folosit ca *analogon*. Timpul este ca spațiul, îl putem înțelege cu aceleași mijloace și pe baza acelorași scheme explicative. Spațiul este *explicans* sau *definiens* pentru timp și, prin urmare, la nivelul explicației, definiției și al reprezentării, timpul poate fi spațializat. O astfel de reducere este însă una pur epistemică, ipoteza că timpul se reduce *simpliciter* la spațiu nefiind susținută de nimic. Vom numi S-teoriile timpului⁷ explicațiile timpului care pornesc de la analogia sau similitudinea dintre spațiu și timp. Ne referim în primul rând la proprietățile spațiului ce pot fi regăsite și în cazul timpului, precum caracterul absolut/relativ, cel finit/infinit, cel discret/continuu sau substanțialitatea, reversibilitatea, izotropia și omogeneitatea.

Pornind de la asemănarea între spațiu și timp ne putem întreba dacă complexitatea spațială se poate extrapola și în cazul timpului. Tipurile de relații spațiale pot constitui baza unei definiții ontologice constituționale și taxonomice a complexității. La fel, putem defini complexitatea temporală pornind de la relațiile existente între părțile temporale ale obiectelor. Pentru a da o definiție a complexității temporale, vom discuta mai întâi problemele filosofice legate de ontologia părților temporale.

1. Existența în timp: teorii relaționale și teorii identitare

În ontologia contemporană există cel puțin două modele legate de presupuziția metafizică privind modul în care părțile temporale aparțin sau nu aparțin obiectului luat ca întreg.

Teorii relaționale

1) Existența în timp și relațiile temporale ce există între obiecte au fost totdeauna subiectul dezbaterilor filosofice. În primele decade ale secolului al XX-lea, diferitele interpretări ale teoriei relativității speciale au influențat radical viziunea ontologică legată de existența în timp. Conform unei anumite presupuziții metafizice, existența în timp a obiectelor este o sumă de stadii temporale separate între care există relații, dar nu există identitate; o astfel de presupuziție stă la baza teoriilor de tip *relațional*.

Se poate accepta că diferitele faze temporale disjuncte prin care caracterizăm „istoria” unui particular sunt complet diferite, cu alte cuvinte ele nu sunt decât părți diferite ale unui „macro-obiect” și nu se identifică cu nimic altceva decât cu ele însele. Nu există o relație de identitate între o parte temporală și o *altă* parte temporală. Părțile temporale nu au atribute colective, ci doar atribute distributive. Între ele există doar relații de predicăție de ordinul superior. De exemplu, noi denumim părțile corpului uman sau părțile geografice ale unei țări fără a le identifica sau a le suprapune întregului. În același fel, există „secțiuni” (*slices*) temporale ale obiectelor.

Este evident că teoriile relaționale se bazează pe analogia între „partea spațială” și „partea temporală”. Între părțile temporale există relații asemănătoare celor dintre părțile spațiale: de apropiere sau depărtare, de succesiune, de similitudine etc. Într-un astfel de context se pot formula teorii ale granițelor, ale contactelor sau ale suprapunerii părților temporale.⁸ Dar ele nu sunt sub nici o formă reciproc identice și nu sunt prezente în totalitate la un anumit moment de timp așa cum o regiune geografică a unei țări nu este prezentă în totalitate în *orice* parte a țării respective. Pentru toate teoriile relaționale, forma enunțurilor valide referitoare la părțile temporale este:

$$\varphi: (\exists R) S_1 R S_2$$

unde R este o relație între cele două stări temporale S_1 și S_2 ale unui obiect O . Relaționismul se bazează, în mare măsură, pe o analogie cu părțile spațiale și, prin urmare, exceptând anumite restricții legate de topologie și de dimensionalitate, clasele de relații $\mathcal{R}_t$ din mereologia temporală se pot deduce din cele ale mereologiei spațiale. Este adevărat că relațiile $\mathcal{R}_s$ ce leagă părțile spațiale ale unui particular sunt extrem de complexe și descrierea lor ține de o ontologie contextuală. Prin urmare, nu va exista o *singură* teorie a părților spațiale. La fel, teoria relațională a identității în timp este dependentă de conținut, în sensul că vor exista mai multe teorii relaționale în funcție de „ontologia” obiectului O . Nu ne putem aștepta ca în teoria cuantică a câmpului, de pildă, clasele de relații $\mathcal{R}_t$ să fie aceleași cu cele care descriu părțile temporale ale obiectelor macroscopice. Dar cel puțin la nivel formal, teoria relațională a mereologiei temporale este dedusă din mereologia spațială.

Vom descrie în cele ce urmează, pe scurt, diferitele teorii relaționale (eternalismul, perdurantismul, teoria ocurenților și cvadridimensionalismul). Toate acestea au la bază ipoteza legată de analogia între descrierea și reprezentarea spațiului și descrierea și reprezentarea timpului.

a) Teza *eternalismului* — „nici prezentul, nici obiectele care se găsesc în prezent nu au un statut ontologic privilegiat” —, stă la baza seriei temporale de tip B a lui McTaggart și despre care se poate spune că stă la baza evoluției unui sistem în timp. Seriei B i se poate aplica o analiză legată de indexicalitate: „a fi acum” este la fel cu „a fi aici”. Ea este dedusă tot din analogia timpului cu spațiul.⁹ Eternalismul se bazează pe analogia între spațiu și timp,¹⁰ iar pe de altă parte este foarte apropiat de posibilism ca teorie modală. Universul este considerat în mod holistic un „bloc” etern în care toate obiectele există: cele trecute, cele prezente și cele viitoare, fără ca între ele să existe diferențe de natură ontologică.

b) Analogia între spațiu și timp conduce și la teza relațională numită *perdurantism*.¹¹ Teoria perduranței afirmă despre un individual că nu există în totalitate în orice moment de timp, ci el există *prin* timp și nu *în* timp; de aici numele de *perduranță*. Fazele sale temporale succesive există doar la un moment dat de timp. „O la t” și „O la t^{*}” nu se referă la două obiecte numeric identice, ci la două părți temporale ale aceluiași individual. Un obiect „perdurează”¹² la momentul prezent dacă persistă la momentul prezent și unele părți ale sale nu există *simpliciter* la momentul prezent. În concepția perdurantistă, părțile temporale ale unui întreg au proprietăți care se reflectă în întregul temporal, la fel cum proprietățile părților spațiale determină proprietățile unui întreg spațial. Un agregat temporal este construit dintr-un agregat spațial, *pars per toto*. Prin percepție și descriere empirică avem acces doar la părțile temporale ale unui obiect, dar niciodată la el ca întreg: ceea ce eu percep acum ca A este diferit de ceea ce voi percepe (A') sau de ce am perceput (A''). Între A, A' și A'' pot exista doar relații de similitudine, de continuitate cauzală a părților sau de continuitate la nivel de informație,¹³ dar nimic nu persistă de la A' la A sau de la A la A''. Conform teoriei perduranței, un obiect există în timp prin intermediul părților sale temporale.¹⁴ Individualul nu este complet prezent la un moment dat, ci doar prin intermediul uneia dintre părțile sale temporale și în consecință el nu este decât un agregat de părți temporale. Obiectele prezente „aici și acum” sunt secțiuni temporale ale unui obiect care nu este accesibil în totalitate nici percepției, nici cunoașterii. După expresia lui David Hume, mintea umană „urzește” (*feign*) un obiect complet din punct de vedere temporal din părțile sale izolate.

În timp se întâlnesc și interacționează părțile temporale ale diferitelor obiecte fără ca ele în totalitate să aibă vreun tip de interacțiune reciprocă. Existența în timp este doar a părților temporale: individualul este un agregat de secțiuni temporale iar existența nu-l implică ca întreg. Se poate spune că în acest fel predicatele unuia și aceluiași obiect la momente diferite de timp caracterizează părți temporale diferite: „O la t” și „O la t^{*}” se referă

la părți temporale diferite ale aceluiași obiect iar enunțul despre „O la t” nu-l implică pe O în totalitate.

c) *Teoria ocurențelor* se bazează tot pe analogia între spațiu și timp fiind apropiată de teoria duranței, deși angajamentul ei este mai puternic în sensul adoptării unei ontologii extensive. La ontologia standard substanță+individualii se adaugă evenimentele, în acest caz numite ocurenți.¹⁵ Conform teoriei ocurențelor, existența părților temporale angajează existența ocurențelor, ca fiind opuși continuanților, obiectele spațio-temporale. Ocurenții pot avea părți temporale dar nu au părți spațiale în același *mod* în care continuanții au părți spațiale.¹⁶

O teorie „tare” a ocurențelor neagă existența continuanților, încercând să dea o reducere ontologică a continuanților la ocurenți. Continuanții sunt considerați adaosuri metafizice inutile, astfel că nimic nu „endurează” fără a „perdura”. Într-o teorie mai slabă, continuanții pot fi priviți ca invariante abstracte ai ocurențelor sub o anumită relație de echivalență.¹⁷ P. Simons consideră continuanții sub aspectul proceselor pe care le implică existența lor. La nivel microscopic, orice continuant este un proces „foarte lent” (*boring process*) sau o sumă de procese care sunt ocurenți, iar continuanții există ca obiecte abstracte „din” ocurenți printr-o anumită relație de echivalență.¹⁸ Astfel, nu există continuanți „monotoni”.¹⁹ Dar P. Simons nu consideră că prin această relație se pot elimina complet continuanții, ci trebuie reconstruită relația de reducere față de ocurenți.

d) *Cvadrimensionalismul* (în terminologia curentă, 4D sau *four-dimensionalism*²⁰) este o altă teorie de tip relațional legată de fundamentele metafizice ale teoriei relativității. Această variantă de teorie relațională nu diferă radical de cea a duranței decât prin faptul că accentuează aspectul parțial al obiectelor cvadrimensionale în timp și neagă existența caracteristicilor globale în timp. Obiectele în timp sunt obiecte filiforme spațiotemporale, mai prozaic „viermi” (*worms*), sau stadii (*stages*) în terminologia lui Th. Sider. În plus, cvadrimensionalismul angajează ontologic teoria dimensionalității prin aceea că leagă

existența obiectelor de dimensionalitatea lor.

Problema care se ridică este *cum* ocupă obiectele a patra dimensiune. În teoria 4D, obiectele nu sunt prezente în totalitate la un moment de timp, ci sunt prezente doar printr-o parte temporală a lor. În forma ei cea mai slabă teoria susține doar existența părților temporale.²¹ Conform 4D, obiectele ocupă a patra dimensiune, nu persistă de-a lungul ei, adică nu pierd și nu câștigă componente în timp. Mereologia adoptată de cvadridimensionalism este formulată *simpliciter*, nu prin indexicalizare la timp astfel că exemplificarea²² proprietăților și relațiilor este atemporală. Părțile temporale au proprietăți *simpliciter*. Schimbarea este o succesiune de părți temporale care exemplifică proprietăți diferite sau în grad diferit.

Teoria părților temporale în cvadridimensionalism este atemporală în sensul că reduce atributul indexicalizat temporal „x este parte_(la t) a lui y” astfel:

(P@T): „În mod necesar, x este parte «la t» a lui y dacă x și y există la t și partea temporală a lui «x la t» este parte a lui «y la t».”²³

și părțile temporale au proprietățile *simpliciter*, în toate cele patru dimensiuni simultan.

Teorii identitare

Intuiția comună este într-o oarecare măsură incompatibilă cu toate tezele relaționiste. Suntem înclinați să credem că diferitele părți temporale ale unui corp sunt *altfel* legate unele de altele decât părțile lor spațiale. Din punctul de vedere al simțului comun, intuim că „ceva” persistă în timp și că între părțile temporale există ceva mai puternic decât relații de tipul celor spațiale. Experiența de zi cu zi ne îndeamnă să credem că un individual P perceput azi este același cu cel de ieri și că relația între ei este mai „tare” decât cea care leagă părțile spațiale ale unui lucru. O astfel de relație este identitatea tare de tip $A \equiv A$, în sensul că „ceva” persistă în timp — fie substratul, substanța, persistentul etc. O astfel de intuiție stă la baza teoriilor identitare. Substanțialismul ce a dominat filosofia aristotelică, cea scolastică și apoi raționalismul modern nu acceptă o teorie relațională slabă, ci presupune introducerea unui termen

ontologic mai tare decât R în (ecuația 1): există o continuitate în timp datorată persistenței a „ceva” ce rămâne comun lui S_1 și S_2 . Se poate spune că alternativa la teoria relațională, deși ușor de acceptat, pe de o parte, de simțul comun și, pe de altă parte, în filosofia clasică, nu rezistă atât de ușor unei analize conceptuale amănunțite. Termenul de „substanță” a fost de multe ori acceptat necritic în filosofie până când a fost pus în discuție pe temeiul lipsei unei referințe spațio-temporale de Hobbes și Locke. Cât de problematică este ontologia substanței sub aspect conceptual s-a văzut mai clar abia o dată cu apariția modelelor mecanicii cuantice și descoperirile din fizica particulelor elementare. Alte teorii precum „*bundle theory*” sau „*trope theory*” au încercat să elimine neajunsurile teoriei substanțialiste.

Teoria identitară este legată de postularea unui substrat persistent. Chiar dacă se neagă direct existența substanței, teoriile identitare utilizează substituenți ai substanței precum *haecceitatea*: individualii care reprezintă faze temporale succesive ale aceluiași obiect O au în comun individualitatea sau *haecceitatea (thisness)* lui O, cu alte cuvinte *haecceitatea* lor este identică.

Se poate spune că teoria identitară depinde „în sens tare” de o ontologie a substratului, în timp ce teoriile relaționale sunt mai bine adaptate unei ontologii extinse ce cuprinde evenimentele și procesele.²⁴

Cum se poate respinge o astfel de teorie a continuității în timp?²⁵ Principala cale de respingere a teoriei identitare este dată de paradoxul schimbării: cum se poate accepta că două obiecte sunt identice dacă ele pot avea atribute contrare la momente diferite de timp? Oricât de apropiate ar fi două secvențe temporale ale aceluiași obiect luat ca întreg, ele pot avea atribute contrare, motiv suficient pentru a presupune că ele sunt individuali distincți ontologic. Cu alte cuvinte, deoarece între fazele distincte ale unui același întreg temporal există și trebuie să existe diferențe, ele sunt obiecte diferite (conform unei consecințe a principiului indiscernabililor). D. Armstrong, însă, privește cu rezervă acest argument susținând că nu se poate dovedi că părțile temporale sunt

individuali *complet* diferiți.²⁶ Dacă se adoptă o teorie asupra existenței universalilor se poate afirma că individualii care reprezintă părți temporale ale unuia și aceluiași întreg sunt identici „parțial”.²⁷ Realismul în ceea ce privește universalile acceptă în general teoria identității în timp și respinge teza opusă, relaționismul.

Deoarece în articolul de față ne vom concentra asupra teoriilor relaționale pentru a defini complexitatea în timp vom descrie foarte pe scurt teoriile identitare:

a) *Teoria enduranței* postulează că obiectele nu au părți temporale și că individualii persistă în întregime în timp. Proprietățile temporale sunt relații între obiecte și entitățile temporale. Obiectele nu ocupă timpul, ci există continuu în timp — de aici denumirea de *teoria enduranței*. Ele formează o singură entitate la momente diferite de timp și cele două stări S_1 și S_2 din ϕ descriu *același* obiect, nu părți temporale diferite ale sale. T. Merricks consideră că teza fundamentală a endurantismului este: „orice obiect care are proprietatea de enduranță (*enduring object*) și care există la un moment dat de timp este identic cu el însuși la un alt moment de timp”.²⁸ Un astfel de obiect nu are părți temporale. El este prezent în întregime la orice moment de timp, nu doar printr-o parte temporală a sa.

b) *Teoria continuanțelor* este opusă celei a ocurențelor în sensul că se încearcă eliminarea din schema ontologică a ocurențelor, deși acceptă că în limbajul comun noi cuantificăm frecvent peste ocurenți, cât și peste continuanți. Conform ontologiei cuprinse în schema clasică substanță+atribute, discursul despre procese (ocurenți) poate fi redus la discursul despre obiecte și proprietățile lor. Adepții teoriei continuanțelor nu acceptă teza opusă: obiectele (continuanții) să fie considerate abstracții sau construcții ce au la bază ocurenții, procese sau evenimente „vitale”.²⁹ Un contraargument constă în faptul că procesele vitale ale unui continuant pot fi încetinite sau chiar oprite complet, dar chiar și în acest caz existența continuanților nu este intermitentă precum este cea a ocurențelor.

c) *Teoria tridimensionalismului*. Se poate spune că un obiect care are proprietatea de „enduranță” este tridimensional, mai precis are exact atâtea dimensiuni câte dimensiuni are și spațiul.³⁰ Semantic, această teorie acceptă că un descriptor definit O în enunțul de forma: „ O are F la t ” se referă la un obiect de n dimensiuni, unde n este egal cu dimensiunea spațiului, în mod normal considerată trei. Obiectul se regăsește la fiecare moment de timp în întregime, sau există în totalitatea sa, nu doar prin intermediul unei părți temporale a sa. Continuanții au părți spațiale, dar nu au părți temporale. Relația „de a fi parte” este indexicalizată la timp și definită într-o secțiune temporală dată. Pentru a putea avea un obiect tridimensional, trebuie să îi garantăm identitatea în timp, ceea ce presupune o identitate „ocazională”, adică o identitate între obiecte aflate la momente de timp diferite.

Disputa perduranță/enduranță nu este legată doar de mereologie, adică de tipurile de părți pe care le posedă obiectele, ci și de tipul de identitate pe care îl au acestea: teoria enduranței susține că identitatea în timp se reduce la identitatea numerică a obiectelor ce „endurează”, în timp ce teoria perduranței susține că identitatea în timp este o relație complexă între părțile temporale ale diferitelor obiecte cvadridimensionale.

2. *Un sistem mereologic temporal dedus din mereologia spațială*

Pentru a clarifica analogia între spațiu și timp vom descrie pe scurt un sistem de mereologie temporală dedus din mereologia extensională generală (valabilă și în cazul spațiului).³¹ Elementele vocabularului sunt constantele $a, b, c, \dots$, variabilele sunt $x, y, z, \dots$ și $t, t', t'' \dots$ care sunt momente de timp. Axiomele identității individualiilor din mereologia generală sunt valabile și în acest sistem. Relația fundamentală este cea de „a fi parte la t ” $<_t$ (similară cu relația generală „ $<$ ”). Relațiile definite sunt cele de „parte proprie la t ” $\ll_t$, de „suprapunere (overlapping) la t ” $\circ_t$ și cea de „coincidență la t ” $\leq_t$.

Relația $\ll$: un individual este parte proprie a altui individual dacă el este o parte a acestuia, iar al doilea nu este parte a primului.

$$a \ll_t b \equiv_{df} a <_t b \wedge \sim(b <_t a)$$

Relația ○: doi individuali se suprapun dacă un alt individual este parte a amândurora: dacă x și y există la t , dar x nu este parte a lui y la t , atunci x are unele părți la t care nu se suprapun peste y la t .

$$a \circ_t b \equiv_{df} \exists x (x <_t a \wedge x <_t b) \text{ (CTD4)}$$

Este important de observat că o relație temporală de separare ($\rfloor$, *disjointness*) nu este o simplă generalizare a relației omonime din sistemul extensional liber F și astfel mereologia temporală necesită definiții suplimentare. Separarea poate fi definită în cel puțin trei moduri diferite.

$$a \rfloor_1 b \equiv_{df} \sim a \circ_t b \text{ (CTD8)}$$

$$a \rfloor_2 b \equiv_{df} \exists x_t a \wedge \exists x_t b \wedge \sim(a \circ_t b) \text{ (CTD9)}$$

$$a \rfloor_3 b \equiv_{df} \forall t (a \rfloor_1 b) \text{ sau } \forall t (a \rfloor_2 b) \text{ (CTD10)}$$

CTD8 este o definiție prea generală și nu este conformă cu intuiția noastră despre separarea părților. CTD9 presupune că cei doi individuali există la momentul de timp la care se definește separarea lor. CTD10 este menționată din motive legate de păstrarea contradicției între $\rfloor$ și $\circ$ în sensul în care dorim să avem $\rfloor \equiv \sim \circ$.

Relația ≤: doi individuali coincid dacă sunt reciproc unul partea celuilalt.

$$a \leq_t b \equiv_{df} a <_t b \wedge \sim(b <_t a)$$

Pentru toate aceste relații se pot demonstra ca teoreme unele proprietăți clasice precum tranzitivitatea, reflexivitatea (sau ireflexivitatea) sau comutativitatea.

Cât privește existența unui continuant, se poate postula că dacă un individual a există atemporal ca și continuant (formal adoptăm notația $E!a$), atunci el există la un moment de timp ($\exists x_t a$).

$$E!a \rightarrow \exists t (\exists x_t a)$$

Se pot adopta unele axiome minimale ale mereologiei legate de existență, ușor de interpretat în notația comună.³²

$$\exists x_t a \rightarrow a <_t a \text{ (CTA7)}$$

$$a <_t b \rightarrow \exists x_t a \wedge \exists x_t b \text{ (CTA8)}$$

$a \ll_t b \rightarrow \exists x (x \ll_t b \wedge \sim x o_t a)$ (CTA10)

Ceea ce constituie consecințe directe ale mereologiei extensionale.

3. Complexitatea temporală

O încercare de a aplica teoria complexității la existența temporală a obiectelor trebuie să respecte mai multe considerente. Având în vedere supozițiile de natură ontologică din secțiunea 2 și cele de natură formală din secțiunea 3, putem să schițăm o definiție a complexității în timp.

Pe de o parte, la baza complexității temporale se găsește o teorie ontologică relațională (nu putem vorbi de o complexitate în timp dacă adoptăm o teorie identitară, dar putem accepta o complexitate a continuanților și un alt tip de complexitate a ocurenților). Putem defini complexitatea temporală ca fiind o caracteristică a clasei $\mathcal{R}_t$, mai precis a structurii relațiilor temporale ce leagă diferitele părți temporale ale aceluiași macroobiect. Într-un anumit sens, complexitatea temporală este analogică complexității spațiale sau structurale.

După N. Rescher, complexitatea structurală este de două feluri: a) complexitatea organizațională ține de modul în care se pot aranja necontradictoriu elementele componente ale unui ansamblu și b) complexitatea ierarhică care dă măsura în care relațiile între componente pot fi supraordonate una alteia.³³ La fel, se poate vorbi de complexitatea în timp a unui ocurent sau continuant ca o măsură a modului în care relațiile ce există între părțile sale temporale sunt organizate și ierarhizate. Dar în timp ce pentru un continuant este necesar să postulăm existența continuă a părților sale, pentru un ocurent putem accepta că părțile sale pot avea o existență intermitentă. Neapărat trebuie să avem în vedere aici o diferență „ontologică” între ocurenți și continuanți. Ocurenții pot avea o existență intermitentă, ceea ce presupune o complexitate de altă natură decât a continuanților, care nu pot avea o existență intermitentă. Dacă acceptăm că între părțile temporale nu există

relații de identitate, vom putea clasifica ansamblurile de părți temporale (macroobiecte) pe baza claselor de relații $\mathcal{R}_t$ constitutive. Complexitatea claselor de relații temporale ne va da complexitatea macroobiectului respectiv.

Pe de altă parte, la baza complexității în timp se găsește mereologia temporală și definițiile relațiilor între părțile temporale. Am văzut că într-o oarecare măsură rezultatele din mereologia temporală sunt generalizări ale rezultatelor din mereologia extensională. Dar complexitatea temporală nu este un astfel de rezultat, o simplă generalizare a celei spațiale sau extensionale.

Ca exemple, vom menționa câteva rezultate din formalismul temporal ce nu sunt simple consecințe ale generalizării extensionale. Vom folosi teoria mereologică a lui R. Chisholm care se poate reformula temporal într-o variantă *de re* astfel:³⁴

$$\exists t (x \ll_t y) \rightarrow \Box (E!y \rightarrow \forall t (Ex_t y \rightarrow x \ll_t y)) \text{ (RCA3),}$$

ceea ce presupune că, dacă există un moment de timp la care x este parte a lui y , atunci în mod necesar x este parte a lui y la orice moment de timp la care y există. Prin definiția *de re* a părții proprii se poate formula o ontologie a entităților propriu-zise (*entia per se*) pentru care relațiile pur mereologice sunt esențiale în sensul în care ele au loc atât timp cât individualul există și reciproc, individualul încetează să existe dacă o parte a sa dispare. Cu alte cuvinte, în ontologia lui Chisholm entitățile se pot clasifica după componentele lor temporale.

Obiectele care au o variabilitate mereologică temporală sunt *entia successiva*, de fapt o succesiune de *entia per se* care fiecare este mereologic constantă. Astfel, *entia successiva* sunt mai complexe decât *entia per se* ce le compun. Relația folosită de R. Chisholm este cea de α -succesiune: două *entia per se* pot forma un *ens succesivum* dacă ele se găsesc în relația de α -succesiune. Aici se poate spune că tipul de entități însumate diferă complet de rezultatul însumării, iar complexitatea ansamblului (*ens succesivum*) este diferită de complexitatea componentelor. Caracterul de non-aditivitate a complexității (atât computațională, cât și cea care caracterizează sistemele neliniare) se regăsește și

aici.

Identitatea atemporală a doi continuanți poate fi legată de relația de suprapunere temporală $\leq_t$.

$$a = b \rightarrow \text{Ex}_t a \wedge \text{Ex}_t b \wedge a \leq_t b. (\text{CTT2})^{35}$$

Altă relație importantă este produsul mereologic „ $\bullet$ ” care caracterizează partea comună maximală a doi individuali. Putem adăuga unele predicate mereologice de ordinul I, precum predicatele ternare de produs (PR), sumă (SU) și sumă simultană (SM),³⁶ sau cele un-are de constanță temporală (MC) și variabilitate temporală (MV), dar care presupun cel puțin două momente de timp.³⁷

$$a \bullet b \equiv_{\text{df}} \forall x \forall y (y <_t x \leftrightarrow y <_t a \wedge y <_t b) (\text{CTD11})$$

$$\text{cPR}_{tab} \equiv_{\text{df}} \text{Ex}_t c \wedge \forall x (x <_t c \leftrightarrow x <_t a \wedge x <_t b) (\text{CTD13})$$

$$\text{cSU}_{tab} \equiv_{\text{df}} \text{Ex}_t c \wedge \forall x (x \circ_t c \leftrightarrow x \circ_t a \vee x \circ_t b) (\text{CTD15})$$

$$\text{cSM}_{ab} \equiv_{\text{df}} \forall t \forall x (x \circ_t c \leftrightarrow \text{Ex}_t a \wedge \text{Ex}_t b \wedge (x \circ_t a \vee x \circ_t b)) (\text{CTD16})$$

$$\text{MC}_a \equiv_{\text{df}} \forall t \forall t' (\text{Ex}_t a \wedge \text{Ex}_{t'} a \rightarrow \forall x (x <_t a \leftrightarrow x <_{t'} a)) (\text{CTD6})$$

$$\text{MV}_a \equiv_{\text{df}} \sim \text{MC}_a (\text{CTD7})$$

Prin noțiunile de constanță mereologică (MC), respectiv de variabilitate mereologică (MV) putem decide dacă o sumă de părți temporale poate constitui un continuant sau nu pot fi decât ocurent. De asemenea, nici o *entia per se* nu poate avea o complexitate temporală superioară nici unei *entia succesiva* în a cărei componență intră.

Vom enumera unele teoreme mai importante legate de aceste relații și de relațiile omonime din mereologia atemporală.³⁸

$$\text{cPR}_{ab} \wedge \text{Ex}_t c \rightarrow \text{cPR}_{tab} (\text{CTT14})$$

$$a \circ b \rightarrow \exists x (x \text{PR}_{ab}) (\text{CTF7})$$

$$\text{c}_1 \text{PR}_{tab} \wedge \text{c}_2 \text{PR}_{tab} \rightarrow \text{c}_1 \leq_t \text{c}_2 (\text{CTF8})$$

$$\text{cSU}_{ab} \wedge \text{Ex}_t c \rightarrow \text{cSU}_{tab} (\text{CTT16})$$

$$\text{cSM}_{ab} \rightarrow \forall t (\text{Ex}_t c \leftrightarrow \text{Ex}_t a \wedge \text{Ex}_t b) (\text{CTT17})$$

$$\text{c}_1 \text{SU}_{ab} \wedge \text{c}_2 \text{SM}_{ab} \rightarrow \forall t (\text{Ex}_t a \wedge \text{Ex}_t b \rightarrow \text{c}_1 \leq_t \text{c}_2) (\text{CTT18})$$

Putem să extindem definiția CTD15 pentru a defini suma tuturor obiectelor care posedă o anumită proprietate A :

$$aSU_x (F_t, x) \equiv_{df} \forall x \forall t (x \circ_t a \leftrightarrow \exists y (F_t, y \wedge x \circ_t y)) \text{ (CTD15)}$$

Ceea ce presupune că suma mereologică a există la un moment de timp diferit de t' la care se poate predica F și care ne permite să generalizăm clasele de relații temporale dincolo de existența temporală a obiectelor.³⁹ În acest sens, complexitatea existenței în timp nu este direct legată de obiectele ca atare, ci de relațiilor lor actuale, trecute și viitoare. Se poate spune că relațiile între obiecte există „dincolo” (în sens temporal) de existența obiectelor ce le constituie și la fel se poate spune despre complexitatea lor temporală.

Astfel, teoriile menționate în secțiunea 2 pot fi reformulate mereologic. Dacă acceptăm relațiile $<_t$, $\ll_t$ și $\circ_t$ ca fiind ireductibile în cvadridimensionalism, se poate defini partea temporală prin mereologia temporală: x este o parte temporală instantanee a lui y la $t \equiv_{df}$ (1) x doar există la t , (2) x este parte a lui y la t (3) x se suprapune la t cu orice este parte a lui y la t . Postulatul cvadridimensionalismului este: „orice obiect are părți temporale la fiecare moment la care există”. Se poate specifica o condiție ce corespunde faptului că două obiecte nu sunt unul parte a celuilalt: dacă x și y există la t , dar x nu este parte a lui y la t , atunci x are unele părți care la t nu se suprapun cu y la t .

Ce înseamnă că un continuant este complet prezent la un moment de timp? „Complet prezent” într-un interval de timp T înseamnă că tot ce este parte a acelui obiect la orice moment de timp t este parte a lui x la orice moment de timp t^* din T .

Dar dacă nu se adoptă aceste restricții de natură mereologică și se admite o mereologie mai tolerantă, putem accepta că „un obiect la t ” este caracterizat nu numai de relațiile părților care există la t , ci și de relațiile părților care nu există încă sau nu mai există la t .

Astfel, complexitatea în timp poate fi considerată o caracteristică globală, nu locală. Ea caracterizează sume mereologice în timp ale relațiilor care constituie atemporal macroobiectul respectiv.

Bibliografie

1. D.M. Armstrong, [1980], „Identity through Time”, în Peter van Inwagen (ed.), *Time and Cause: Essays Presented to Richard Taylor*, Reidel, Dordrecht, Boston, 67-78.
2. Mark Brown, Valentin Goranko, [1999], „An Extended Branching-Time Ockamist Temporal Logic”, în *Journal of Logic, Language and Information*, vol. 8, 143-166.
3. Roderick Chisholm, [1976], *Persons and Objects*, La Salle, Open Court.
4. Bruce Edmonds, [1999], „What is Complexity? — The philosophy of Complexity per se with application to some examples in evolution” în F. Heylighen & D. Aerts (eds.), *The Evolution of Complexity*, Kluwer, Dordrecht.
5. Robin Le Poidevin, [1991], *Change, Cause and Contradiction: a Defence of the Tenseless Theory of Time*, Macmillan.
6. David Lewis, [1986], *On the Plurality of Worlds*, Blackwell, Oxford, Cambridge.
7. Michael Loux [1998], *Metaphysics, a Contemporary Introduction*, Routledge, London, New York.
8. Joseph Melia, [2000], „Continuants and Occurents”, în *Proceedings of the Aristotelian Society* (100, 2000), 100.
9. Trenton Merricks, [1998], „There Are No Criteria of Identity over Time”, în *Noûs* (32(1), 1998), 32(1), 106-124.
10. Trenton Merricks, [1994], „Endurance and Indiscernability”, în *The Journal of Philosophy* (91(4), 1994), 91(4), 165-184
11. Nicolas, Rescher, [1998], *Complexity. A Philosophical Overview*, Transaction Publisher.
12. Peter Simons, [2000], „Continuants and Occurrents”, în *Proceedings of the Aristotelian Society* (100, 2000), 100, 59-75.
13. Peter Simons [1987], *Parts. An Essay in Ontology*, Clarendon Press.
14. Theodore Sider, [April 1997], „Four-Dimensionalism”, în *The Philosophical Review* (106(2), April 1997), 106(2), 197-231.
15. Theodore Sider, [2001-], *Four-dimensionalism*, în curs de apariție.
16. Peter Van Inwagen, [1990], „Four-Dimensional Objects”, în *Noûs* ((24), 1990), (24), 245-255.

¹ Hartmanis, J., Lewis, P.M., Il și Stearns, R.E., „Classification of Computations by Time and Memory Requirements”, în *Proceedings of the IFIP Congress*, 1965, New York, Spartan Books, 31-5.

² Vezi „The Doctrine of Necessity”, în *The Monist*, vol. 2, 1892 și *Collected Papers*, vol. I, sect. 1.174.

³ [Rescher, 1999, 9].

⁴ [Rescher, 1999, 45].

⁵ Definiția lui Edmonds este destul de sugestivă: „complexitatea este proprietatea unei expresii într-un limbaj care face dificilă exprimarea completă a comportării unui sistem chiar dacă se dau în totalitate informațiile despre componentele atomice și relațiile între ele.” [Edmonds, 1999, 7].

⁶ Nu este cazul să insistăm aici asupra diferențelor dintre spațiu și timp. Este evident ele reprezintă un subiect important de dezbatere filosofică, esențial pentru filosofia științei din secolul XX. Ireversibilitatea, săgeata timpului și imposibilitatea schimbării referinței temporale sunt poate cele mai importante dintre acestea.

⁷ Deși terminologia este rar folosită, S-teoriile timpului sunt cel puțin la nivelul presuposiției de bază — analogia dintru timp și spațiu — foarte răspândite, F. Cristensen, *Space-Like Time*, University of Toronto Press, 1993.

⁸ Vezi O. Stock (ed.), *Spatial and Temporal Reasoning*, Kluwer, 1997, 211 sqq.

⁹ Despre cele două serii ale lui McTaggart, vezi Ioan Muntean, „Noile teorii ale timpului și diferența ontologică” în *Logică și ontologie*, Editura Trei, București, 1999, p. 235-253.

¹⁰ [Lewis, 1986, 202].

¹¹ Pentru a desemna două teorii opuse referitoare la ontologia temporală a particulariilor, W.E. Johnston (*Logic*, vol. I, 1921, 199 și vol. III, 1924, p. 78-101) și David Lewis [Lewis, 1986, 202] folosesc termenii generici de „enduranță” (*endurance*) și „perduranță” (*perdurance*).

¹² Nu putem evita folosirea acestui termen tehnic în limba română, el neavând nici un echivalent în limbajul comun. Definiția este adaptată după [Merricks, 1998, 424].

¹³ În sensul că orice este adevărat despre A' poate fi dedus din ceea ce se știe despre A și A" etc.

¹⁴ Fazele temporale sunt numite și stadii (*stages*, termen preferat printre alții de Th. Sider) sau părți temporale.

¹⁵ Pentru a preciza mai clar noutatea adusă de teoriile în discuție, vom folosi terminologia recent adoptată folosind „ocurenți” și „continuanți”, în locul celei clasice, de „evenimente” și „obiecte”.

¹⁶ [Poidevin, 1991, 59].

¹⁷ Ca exemplu amintim cele două articole prezentate de Peter Simons și respectiv răspunsul lui Joseph Melia la conferința „Aristotelian Society Meeting” din iulie 2000, Sheffield: [Simons, 2000], [Melia, 2000].

¹⁸ [Simons, 2000, 75].

¹⁹ „Boring continuants”, în sensul de obiecte lipsite total de procese interne, „vitale” [Simons, 2000, 80].

²⁰ [Sider, 1997, 197], dar mai ales [Sider 2001-].

²¹ [Sider, 2001-, 61].

²² Deoarece termenul de „instanțiere a proprietăților” utilizat îndeobște poate avea un angajament față de tridimensionalism, vom folosi termenul de „exemplificare a proprietăților”.

²³ [Sider, 1997, 200].

²⁴ Nu vom prezenta aici în detaliu ontologia substanței, deși subiectul este foarte important pentru ontologia temporală. Vezi discuția privind relația între cele două teorii în [Loux, 1998, cap. 6].

²⁵ Heraclit și scepticii antici au pus la îndoială necesitatea ei. Hume este poate primul filosof care a construit un contraargument sistematic: identitatea în timp este doar o iluzie de natură psihologică. El susține că noi urzim (*feign*) identitatea diferitelor faze temporale ale aceluiași lucru pe baza faptului că avem tendința de a da constanță și coerență percepțiilor noastre, ceea ce nu constituie decât argumentul în favoarea propriei noastre identități în timp, absolut necesare continuității psihice sau morale. Hume însă nu explicitează o teorie relațională a identității în timp, astfel că teza continuității percepției a rămas dominantă în filosofia modernă; ea stă la baza primei analogii a experienței din *Critica rațiunii pure*.

²⁶ [Armstrong, 1980, 135].

²⁷ Nu în sensul identității tari a lui Frege, ci în sensul mai slab propus de Armstrong.

²⁸ [Merricks, 1994, 166].

²⁹ [Melia, 2000, 78].

³⁰ Prin convenție, din motive legate de reprezentare, spațiul se poate considera bidimensional sau tridimensional. Modelul bidimensional favorizează reprezentările grafice și de aceea se poate adopta prin convenție un univers în care spațiul are doar două dimensiuni fără a pierde din generalitate. Vezi [van Inwagen, 1990, 246].

³¹ [Simons, 1987].

³² [Simons, 1987, 179].

³³ [Rescher, 1998, 9].

³⁴ O reformulare temporală a lui CTA10 în mereologia lui R. Chisholm datorată lui P. Simons. Vezi [Chisholm, 1976, 149] *apud* [Simons, 1987, 189].

³⁵ În toate relațiile de mai sus variabila temporală este cuantificată universal.

³⁶ $cSUab$ există atât timp cât există cel puțin o componentă a sa. $cSMab$ există doar atât timp cât a și b există împreună. Noțiunea de sumă mereologică temporală este mult mai complexă decât cea atemporală.

³⁷ Aceste definiții sunt utile dezvoltărilor ulterioare pe care le avem în vedere.

³⁸ Teoremele notate cu CTF provin din sistemul liber de mereologie extensională.

³⁹ De exemplu, putem vorbi de suma mereologică a tuturor dictaturilor din lume chiar atunci când nu există decât state democratice, prin simplul fapt că o dată în istorie sau o dată în viitor a existat sau va exista o dictatură.

COMPLEXITATE, CUNOAȘTERE ȘI INSTITUȚII

Mihail Radu Solcan

Principalul scop al acestei investigații este examinarea legăturii dintre natura complexității fenomenelor sociale și rolul cunoașterii în societate. Ca un corolar, este cercetat caracterul dezvoltării de instituții într-un cadru social complex.

Vom începe prin a prezenta concepția lui F.A. Hayek despre complexitatea fenomenelor sociale. Apoi vom trasa liniile directe ale unei concepții logice despre complexitatea fenomenelor sociale, pornind de la consecințele unei dezbateri clasice despre planificare. Pe fondul ideilor privitoare la complexitate, vom creiona și rolul cunoașterii în societate. Din perspectiva instituțiilor, vom examina limitele dezvoltării acestora, inclusiv limitele transplantării de instituții, o problemă faimoasă în cultura română.¹

Hayek despre complexitatea fenomenelor sociale

Știința socială a fost adesea tratată cu dispreț din pricină că nu ar fi în stare să atingă gradul de rigoare al științelor naturii și să obțină același tip de rezultate (predicții coroborate cu multă precizie). Răspunsul la aceste obiecții tinde să se refere la

1 Cunoscută sub numele de "problema formelor fără fond".

caracterul mult mai complex al fenomenelor sociale, care nu ar permite construirea aceluiași tip de teorii ca în științele naturii.

Cum ar putea fi însă caracterizată complexitatea? Luat în sensul lui din limba de toate zilele, termenul "complexitate" riscă să rămână vag, poate chiar derutant. De ce nu ar fi obiectul științelor naturii mult mai complex? La urma urmei, numărul oamenilor de pe Pământ este mult mai mic decât cel al particulelor din care este compusă planeta pe care trăim. Iar despre complexitate tindem să vorbim și la nivelul unor societăți cu un număr sensibil mai mic de membri decât omenirea în ansamblul ei.

F. A. Hayek a încercat să găsească un criteriu care să rezolve dificultatea de mai sus.² El pornește de la ideea că o teorie științifică furnizează o descriere a unui tipar al manifestării unui fenomen. Predicțiile ne spun că, în anumite condiții, va apărea un tipar sau altul. Tiparele sunt specificate cu ajutorul unor modele, formulate în termeni matematici. În esență un model, în sensul avut aici în vedere de Hayek, are un număr de elemente, $e_1, e_2, \dots, e_n$, și o serie de relații între elemente, pe care le-am putea nota în modul uzual. Tiparul este dat, în fond, de relațiile dintre elemente.

Să zicem acum că R este relația cu ajutorul căreia surprindem un anume tipar. Gradul de complexitate al fenomenului, după Hayek, este dat de aritatea lui R , de numărul de variabile ale relației R . Cu alte cuvinte, dacă punem elemente specifice în fiecare variabilă, avem nevoie de un număr minim de elemente pentru ca tiparul fenomenului avut în vedere să se manifeste.³

Legile fizicii, spune Hayek, fac apel la un număr surprinzător de mic de variabile distincte pentru a descrie fenomenele de bază ale naturii.⁴ Desigur, din structurile de bază se pot constitui, prin compunere, structuri extrem de complexe, dar noi denumim fenomenele "mecanice" sau "fizice" dacă ele au tipare de

2 Vezi (Hayek 1994). La origine, articolul lui Hayek a apărut în 1967, în volumul *Studies in Philosophy, Politics and Economics*.

3 Vezi (Hayek 1994: 56).

4 (Hayek 1994: 57).

manifestare ce pot fi caracterizate în termenii unor relații cu un număr redus de variabile.

Prin contrast, știința socială se confruntă cu modele în care relațiile au un număr mare sau foarte mare de variabile. Cu alte cuvinte, numărul minim de elemente necesare pentru ca fenomenul să se manifeste este sensibil mai mare decât în cazul fenomenelor fizice. De aici dificultatea de a specifica toate datele necesare.⁵ Dificultatea aceasta poate să aibă un caracter practic sau chiar absolut, consideră Hayek.

Pentru știința socială, apreciază Hayek, este foarte importantă distincția dintre o clasă de fenomene (fenomene de un anumit tip) și fenomenele individuale. Ceea ce poate să facă știința socială este să caracterizeze tiparul unei clase. A merge către tiparul unor fenomene individuale și către prezicerea manifestării lor este de-a dreptul imposibil. Hayek scrie că "... nu putem ști tot ce ar trebui să știm pentru a formula o explicație completă a fenomenelor"⁶ sociale. Ignoranța noastră are însă și ea importanța ei. Lumea nu este făcută numai din fenomene simple. Idealul cunoașterii nu poate fi acela de a reduce totul la structuri simple.

Planificarea și problema fenomenelor complexe

Fenomenele sociale pot să aibă trăsături care par arbitrar sau chiar nedrepte. Tiparul distribuirii veniturilor este un exemplu adesea invocat. Acest tipar este influențat de înzestrarea naturală a oamenilor, de variate condiții și de noroc ca atare. De aici tentația de a corija tiparul respectiv cu ajutorul unor instituții speciale, menite să opereze o redistribuire a veniturilor.⁷

Ideea cea mai drastică nu a fost însă cea de a redistribui

5 (Hayek 1994: 58).

6 (Hayek 1994: 65).

7 Pentru ideea caracterului arbitrar al factorilor menționați și pledoaria în favoarea îndreptării tiparului veniturilor a se vedea John Rawls, *A Theory of Justice* (Oxford: Clarendon Press, 1972), în special paginile 72-73.

veniturile, ci aceea de a reorganiza societatea în așa fel încât fiecare individ să primească instrucțiuni clare referitoare la ceea ce trebuie să producă și să schimbe cu alții. Acest sistem ar fi trebuit să fie completat de o distribuire adecvată a bunurilor, conform cu natura fiecărei persoane. Pentru a-l pune în practică instituția proprietății private urma să fie suprimată. Un sistem de planificare ar fi trebuit să specifice ce are fiecare de făcut.

La începutul secolului al XX-lea, planificarea era o idee extrem de populară. După 1989, cu greu se mai găsesc susținători ai planificării așa cum am definit-o mai sus. Ce rămâne este însă interesul teoretic pentru discuția despre planificare.

Planificarea definită ca mai sus o vom trata ca pe o planificare extrem de cuprinzătoare, tocmai pentru a putea sesiza semnificația teoretică a discuției. Planificarea cuprinzătoare este un teren excelent pentru a ne face o idee mai precisă despre natura complexității fenomenelor sociale. În fond, ideea de bază este simplă: este o încercare de a retrasa tiparul unor fenomene complexe. Este, de asemenea, o încercare de a adopta o strategie instituțională a intervenției directe în desfășurarea unor fenomene complexe.⁸

În primele două decade ale secolului trecut au existat o serie de încercări de a argumenta că planificarea este imposibilă. Cel mai important argument de acest gen a fost formulat de către Ludwig von Mises, în anii 1920-1922. El constituie miezul cărții sale despre economia colectivistă.⁹

Pentru a înțelege pe deplin natura premiselor argumentului lui Mises, trebuie să acordăm atenție deosebirii dintre concepția clasică și cea neoclasică despre valoare. Economia clasică tratează valorile ca pe un dat obiectiv. Ele depind de munca încorporată în bunul respectiv. De aici și perspectiva conform căreia "prețurile

8 Am putea menționa, în acest sens, stereotipul de pe vremea comunismului, conform căruia sporirea complexității fenomenelor cere creșterea rolului statului.

9 Tradusă în limba engleză cu titlul *Socialism*. Noi am folosit ediția LibertyFund (Mises 1981).

sunt determinate de costurile de producție”¹⁰.

Economiștii clasici nu desconsiderau ideea de utilitate. Ea era și pentru ei o fațetă a valorii, dar nu puteau rezolva probleme precum cea a raportului dintre apă și diamante. Dacă am merge consecvent pe firul ideii de utilitate, cum am explica prețul apei și cel al diamantelor. Apa este mult mai utilă decât diamantele, dar prețul acestora este mult mai mare. Soluția a venit o dată cu revoluția neoclasică.¹¹

Autorii revoluției neoclaseice au fost Jevons, Walras și Menger. Neoclasicii au o concepție subiectivistă despre valoare. Ei se orientează către consumator și preferințele sale. A doua idee cheie este cea a utilității marginale: pentru a înțelege utilitatea unei unități dintr-un bun oarecare trebuie să examinăm procesul care are loc dacă achiziționăm unități din același bun: prima înghițitură de apă (când îmi este teribil de sete) are o mare utilitate; a doua înghițitură este și ea utilă, dar în mai mică măsură decât prima. Cum apa este mult mai abundentă decât diamantele, utilitatea adăugării unei noi cantități de apă la cea pe care o dețin deja este sensibil mai mică decât cea a unui diamant, fie el și de mici dimensiuni (dacă nu se întâmplă să am un munte de diamante).

De la Menger pleacă tradiția care poartă numele de “școala austriacă” de economie. Prin Menger, școala austriacă își are rădăcinile în revoluția neoclasică. Mises este și el un membru al acestei școli, dar am putea spune că o dată cu Mises școala austriacă dobândește un profil aparte. Între altele, acest profil este dat de critica planificării.

Pe scurt, Mises pleacă de la observația că “utilitatea subiectivă a bunurilor” nu poate sluji drept unitate de măsură a valorii.¹² De ce este nevoie, însă, de o măsură? Pentru că atunci când are de ales între două cursuri ale acțiunii (de exemplu, între

10 Formularea este din (Hausman 1993: 35). A se vedea, de altfel, (Hausman 1993: 33-40) pentru o scurtă introducere în știința economiei.

11 Vezi (Hausman 1993: 36-37).

12 (Mises 1981: 98).

satisfacerea a două dorinți), individul își face socoteli. Chiar pentru un individ izolat, aceste socoteli sunt indispensabile. Am vrea să construim o casă. Din ce materiale? Lemn? Chirpici? Beton? Depinde. De ce anume? De costurile implicate de un curs al acțiunii sau altul. Aceste costuri, pentru ca acțiunea să aibă sens, ar trebui să fie de așa natură încât să permită obținerea unui beneficiu.

Din acest motiv trebuie recurs la prețuri formate pe piață. Pe o piață se recurge la un bun la care se pot raporta toate celelalte bunuri, la bani. Mises arată că banii nu sunt nici ei o măsură a prețurilor sau a valorilor. "Prețurile sunt cantități de bani."¹³ Aceste cantități fluctuează și ele ca valoare, dar dacă fluctuațiile nu sunt prea violente, ele permit calculul economic. Dacă o acțiune nu aduce beneficii, aceasta înseamnă că alții pot face ceva mai bun cu resursele în cauză.¹⁴

Numai în condiții foarte simple ne putem dispensa de calculul făcut cu ajutorul banilor.¹⁵ În limitele unei gospodării individuale, ne putem lipsi de calculele făcute cu ajutorul banilor. Prin contrast, în situații complexe, nu ne putem lipsi de piață și de calculele în termeni monetari.

Prin urmare, argumentul lui Mises este formulat în termenii calculului economic. Două momente sunt punctele foarte importante în premisele sale: 1) aprecierile subiective nu ne pot furniza date pe care să le folosim în calculul economic; 2) schimburile, recursul la bani, ne permit însă să obținem datele de care este nevoie pentru a duce până la capăt calculul economic.

Care este defectul planificării? Ea desființează schimburile și le înlocuiește cu sarcini trasate indivizilor. Pentru a trasa însă aceste sarcini comisia de planificare ar trebui să poată evalua diversele cursuri ale acțiunii. De ce unul ar fi mai bun decât altul? Comisia nu are pur și simplu la dispoziție prețurile formate pe o piață.

Ar fi de observat că, în aceste condiții, comisiei nu-i rămâne decât un singur criteriu: judecata subiectivă a membrilor ei. Dar

13 (Mises 1981: 99).

14 Ibidem.

15 (Mises 1981: 101).

aceasta nu face decât să introducă un element de arbitrar în sistem.

Un lucru ar mai trebui adăugat. Mises admite o posibilă ieșire pentru socialiști: o societate staționară. Într-o astfel de societate, acțiunile doar s-ar repeta și problema calculului economic nu s-ar pune.¹⁶ O asemenea societate este doar una imaginară.

Este foarte interesant să ne uităm la replicile socialiste la argumentul lui Mises. Au existat, desigur, răspunsurile pur propagandistice. Dar, pe lângă ele, au apărut și contraargumentele.

O posibilitate de a încerca o ieșire din strânsoarea argumentului lui Mises este să admiti punctele cheie ale premiselor. Cu alte cuvinte necesitatea de a recurge la piață este acceptată. Atâta doar că piața este simulată. Ea nu funcționează în condițiile instituției proprietății private. Managerii socialiști sunt instruiți să joace jocul pe care l-ar juca și în condițiile capitalismului, cu alte cuvinte, să procedeze ca și cum ar fi pe o piață. Nu întâmplător, soluția aceasta se numește socialism de piață.

Unul dintre promotorii importanți ai argumentului în favoarea socialismului de piață era, în anii '30 ai secolului al XX-lea, Abba Lerner. Lerner credea că dezbaterea despre planificare a luat aspectul unei triade dialectice: teza (respingerea planificării de către Mises), antiteza (replica propagandistică la argumentul lui Mises) și sinteza.¹⁷ Sinteza susține că socialismul poate oferi piețe, prețuri și calcul economic (ca și capitalismul), dar într-un mod mai eficient.

Lerner a accentuat importanța regulilor privitoare la costul marginal: managerii sunt instruiți de către autoritatea centrală să producă noi unități dintr-un bun atâta timp cât prețul acestora acoperă costul producerii acestei noi unități.¹⁸

Un alt protagonist al socialismului de piață a fost Oskar Lange. Lange este și el de acord că Mises a contribuit la clarificarea problemei calculului economic, dar nu este de părere că a și găsit o

16 (Mises 1981: 105).

17 (Lerner 1934: 51).

18 (Lerner 1937: 257).

soluție adecvată în problema respectivă.¹⁹ Lange susținea că argumentul lui Mises se bazează pe o confuzie între două înțelesuri ale termenului “preț”: prețul ca preț relativ (rata de schimb a două bunuri pe piață) și prețul în sens general, ca termeni în care ne sunt oferite diversele alternative. După Lange, nu este nevoie pentru planificare decât de prețuri în cel de al doilea sens. Iar problema planificării este solubilă dacă dispunem de trei categorii de date: (1) o cunoaștere a preferințelor (între alternative); (2) o cunoaștere a termenilor în care ne sunt oferite alternativele și (3) o cunoaștere a resurselor de care dispunem.²⁰ Cunoașterea de tip 1 și cea de tip 3, susține Lange, sunt date, fixate. Lange crede că Mises neagă posibilitatea planificatorilor de a accede la cunoașterea de tip 2. Dar aceasta este o cunoaștere privitoare la posibilitățile de a transforma un bun în alt bun, afirmă Lange. Ca atare, dacă 1 și 3 sunt date, atunci și 2 este accesibilă. Evident, nu există ratele de schimb ale bunurilor pe piață, dar aceasta este tocmai confuzia pe care ar face-o Mises între cele două înțelesuri ale prețului.²¹

Înainte de a continua să urmărim firul argumentelor lui Lange, este util să menționăm argumentul avansat între timp de către Hayek împotriva planificării. Ca și Mises, Hayek susține că planificarea nu este posibilă. Argumentul său ridică delicate probleme referitoare la complexitate și cunoaștere. Hayek observă că unui director dintr-un sistem economic planificat i se interzice să substituie cu de la sine putere o categorie de bunuri cu alta.²² În aceste condiții, autoritatea centrală ar trebui să țină evidența separată a tuturor unităților care compun uriașul ansamblu al sistemului de producție. Fiecare mașinărie ar trebui inventariată, ar trebui apreciat unde ar putea fi utilizată mai avantajos, care ar fi costurile reparațiilor sau eventualelor modificări și așa mai departe. Aceasta nu înseamnă doar statistici colosale, ci și centralizarea

19 (Lange 1936: 54).

20 Ibidem.

21 (Lange 1936: 55).

22 (Hayek 1935b: 211).

tuturor cunoștințelor cu caracter tehnic.²³ Pe de altă parte ar trebui ierarhizate după importanța lor relativă bunurile de consum. Sarcina ar fi iarăși extrem de complexă. Pentru a face toate corelațiile necesare între diversele procese implicate de producerea bunurilor respective ar trebui rezolvate ecuații cu un număr colosal de variabile. În plus nu ar trebui uitat – considera Hayek – că fiecare schimbare a unui preț antrenează nenumărate alte schimbări de prețuri. Aceasta ar face și mai puțin plauzibilă ducerea până la capăt a calculelor.²⁴

Se observă cum considerațiile lui Hayek referitoare la numărul de variabile implicate în calcule converg cu concepția sa mai târzie despre complexitate. Planificarea este pur și simplu un mod irațional de a face față problemelor generate de complexitatea fenomenelor sociale.

Hayek mai aduce, de asemenea, în discuție problema imposibilității centralizării și transformării în cunoaștere explicită a unei cunoașteri care este esențialmente dispersată și descentralizată.

Să revenim acum la argumentele lui Lange. Acesta pleacă de la modul în care societatea capitalistă ar face față complexității. În economia capitalistă problema calculului economic este rezolvată prin *încercare și eroare*. După Lange, același lucru este posibil și în economia planificată.²⁵

În esență, ideea este că prin tatonări se ajunge la echilibru economic. De fapt, sunt găsite prețurile de echilibru, prețurile la care cererea pentru un bun este egală cu oferta.²⁶

Lange prezintă în felul următor procesul de aflare a prețurilor prin tatonări: să zicem că pe o piață prețurile de start sunt fixate la întâmplare (prin tragere la sorți). Fiind date prețurile respective, indivizii își adaptează comportamentul la ele și produc mai mult dacă prețul este avantajos sau cer mai puțin dintr-un bun dacă este

23 (Hayek 1935b: 212).

24 (Hayek 1935b: 213-216).

25 (Lange 1936: 56).

26 Aceasta este, între altele, o idee paradigmatică pentru varianta dominantă azi a școlii neoclasică (ceea ce în engleză poartă numele de *mainstream*).

scump. Dacă oferta și cererea se întâmplă să fie egale, nu se schimbă prețul. Dacă prețul nu este însă unul de echilibru, încep ajustările. Excesul dintr-un bun pe piață determină scăderea prețului. Lipsa, din contră, face să crească prețul, până sunt găsite prețurile de echilibru.

Procesul de mai sus se vrea descrierea a ceea ce are loc pe o piață capitalistă. Cum ar decurge lucrurile într-un sistem planificat? Lange presupune că sunt menținute libertatea consumatorilor de a alege bunurile pe care le doresc și libertatea de a ocupa un loc de muncă sau altul, după preferință. Dar, în afară, de piața forței de muncă nu există nici un fel de piață pentru factorii implicați în procesul de producție. Autoritatea centrală fixează prețurile pentru acești factori. Managerii întreprinderilor productive sunt obligați, pe de altă parte, să respecte reguli, de pildă trebuie să minimizeze costurile de producție și, conform unei alte reguli, să producă exact atât cât este necesar pentru a echilibra cererea.

Cheia argumentului lui Lange este următoarea: la sfârșitul unei perioade determinate prețurile care nu sunt prețuri de echilibru devin vizibile, ele sunt acele prețuri pentru bunuri oferite în exces sau, din contră, pentru bunuri care lipsesc de pe piață.²⁷ Greșelile făcute în fixarea de prețuri de către autoritatea centrală devin astfel evidente. Aceasta intervine și schimbă prețurile, pentru a ajunge la prețul de echilibru. Autoritatea planificatoare, conchide Lange, joacă exact același rol ca și piața în capitalism.

Autoritatea planificatoare nu numai că poate face aceleași lucruri ca și piața, dar poate – crede Lange – poate să le facă mult mai bine. Numărul de încercări ale autorității planificatoare ar fi mai mic, pentru că planificatorii au cunoaștere de ansamblu mai bună decât orice întreprinzător.²⁸

După Lange, autoritatea planificatoare nu numai că ar fi mai eficientă decât piața capitalistă, dar ar fi și mai dreaptă. Ea ar ține cont de bunăstarea generală a societății și nu ar fi posibil ca unii să

27 (Lange 1936: 64).

28 (Lange 1936: 67).

trăiască în lux și alții să moară de foame.²⁹ Ar elimina discrepanța dintre costurile sociale și costurile de producție efectiv suportate de întreprinderi.³⁰ Ar fi în măsură să localizeze efectele erorilor și să prevină astfel crizele ciclice la nivelul întregii economii.³¹

Partea finală (din Lange 1937) poate să pară curioasă unora astăzi, dar ea tratează problema tranziției (de la capitalism la socialism). Putem menționa în treacăt că există multe simetrii cu modul în care este discutată astăzi tranziția (de la socialism la capitalism), dar o analiză mai atentă a lor ne-ar plasa în afara obiectivelor pe care ni le-am propus aici.

Ceea ce ar trebui însă menționat în mod deosebit este faptul că școala austriacă respinge însăși ideea de echilibru economic. În contextul disputei cu privire la planificare, lucrul acesta nu are de ce să ne mire. Argumentul lui Lange ar pierde imediat orice forță dacă ideea de echilibru pe o piață nu ar avea sens.³²

Prezentări sintetice ale problemei planificării

Cartea lui Hoff despre calculul economic în socialism³³ a fost publicată inițial în norvegiană, în 1938. Ea nu a jucat un rol în dezbateră din acei ani, dar reprezintă o primă perspectivă sintetică asupra disputei cu privire la planificare.

Hoff nu doar reconstituie dezbateră, ci dezvoltă și propria sa argumentare. El arată că socialismul poate construi fabrici, dar nu aceasta este problema. Meteahna socialismului este ineficiența.³⁴

29 (Lange 1937: 124).

30 (Lange 1937: 125). Costurile sociale includ, de exemplu, costurile generate de poluare. Un producător poate trece aceste costuri în contul altora. Ideea lui Lange este că așa s-ar petrece lucrurile inevitabil în capitalism. De aici și o justificare a intervenției autorității planificatoare.

31 (Lange 1937: 126).

32 După austrieci, piața este un proces. Iar procesul acesta are un caracter dinamic.

33 (Hoff 1981).

34 (Hoff 1981: 295).

Sinteza lui Hoff oferă o privire critică asupra planificării. Dar nu ea este cea care a influențat poziția comunității de specialitate.

Trecerea în revistă cea mai influentă a fost cea a lui Abram Bergson.³⁵ Bergson a pus un diagnostic categoric defavorabil argumentului lui Mises. După Bergson, acest argument este lipsit de forță. Este drept că el nuanța evaluarea sa, menționând că are în vedere interpretarea primită pe parcursul dezbaterii antebelice de către argumentul respectiv.

Abia spre sfârșitul secolului al XX-lea, pozițiile critice față de planificare au fost reconsiderate. Cartea lui Lavoie din 1985 abordează planificarea din perspectivă hayekiană.³⁶ Predominant este accentul pe rolul cunoașterii. Autorul folosește masiv concepte din filosofia științei pentru a demonstra caracterul tacit, dispersat al unei semnificative părți a cunoașterii din societate.

Lavoie subliniază faptul că planificarea are multe nume. Uneori ea este pur și simplu "politica industrială". Ideea ca atare este însă cea care are importanță, iar această idee s-a prăbușit. O particularitate a cărții lui Lavoie o constituie analiza felului în care colapsul planificării a creat un vid ideatic pentru orientările politice de stânga. De altfel, titlul ca atare al cărții conține în engleză un joc de cuvinte care subliniază vidul creat la stânga de căderea în desuetudine a idealului planificării.

Dembinski subliniază în prefața la ediția în limba engleză a cărții sale despre planificare faptul că rădăcinile colapsului sistemului comunist din Europa de Est în 1989 se află în slăbiciunile sistemului de planificare.³⁷ Sistemul de planificare s-a dovedit imposibil de reformat. Ineficiența sa a constituit rădăcina întregului proces de prăbușire a comunismului în 1989.

Cu alte cuvinte, spre sfârșitul secolului trecut aprecierile la

35 Abram Bergson, "Socialism", in *A Survey of Contemporary Economics* (Homewood, Illinois: Irwin, 1948) pp. 412-448 apud (Vaughn 1981: XXXIII). Culegerea de studii a fost elaborată sub egida American Economic Association.

36 (Lavoie 1985).

37 (Dembinski 1990: VII-X).

adresa planificării devin tot mai negative. Dembinski însă își bazează argumentarea pe examinarea rolului crezului ideologic comunist. Acesta ar fi susținut procesul de transformare socială, dar a intrat într-o dramatică tensiune cu cerințele eficienței.³⁸ Dembinski recurge la un cadru conceptual special creat de el pentru a analiza sistemul de planificare comunist.

Deși Dembinski nu este direct interesat de problemele complexității,³⁹ una dintre observațiile sale este importantă pentru discuția noastră în continuare. Dembinski subliniază faptul că, în sistemul comunist, planurile se schimbă frecvent (la jumătate de drum) pentru a face față împrejurărilor neprevăzute sau schimbării obiectivelor.⁴⁰ Sistemul nu poate să rămână staționar.

Dembinski analizează, de asemenea, dilemele relației sistemului planificat cu lumea exterioară. Sistemul planificat are tendința să recurgă masiv la importuri și are aversiune față de export. Explicația este relativ simplă: în sistemul planificat domină ofertanții (ceea ce oferă ei trebuie achiziționat de cumpărători). A exporta reprezintă un efort de a capta bunăvoința cumpărătorilor, pentru care producătorii din sistemul planificat nu sunt pregătiți. În schimb, pentru producătorii din sistemul planificat este tentant să cumpere tot felul de bunuri din afară.

După cum vom vedea în continuare, nu este – din perspectivă teoretică – o idee fericită să acorzi prea mare importanță contingentelor istorice. Este lesne de argumentat că în Europa de Est s-a prăbușit o variantă (nefericit proiectată) a sistemului de planificare. Altele s-ar putea să nu fie afectate.

Interesant este, de asemenea, că Dembinski nici nu menționează în bibliografia sa dezbaterile din anii '20-'30 ai secolului trecut în legătură cu planificarea. Mises și Hayek sunt

38 Pentru felul în care ar funcționa sistemul de planificare centralizată, după Dembinski, vezi (Dembinski 1990: 36 ș.u.).

39 Aduce totuși în discuție conceptul de entropie, pentru a explica relațiile conflictuale dintre sistemul de planificare și mediul său (Dembinski 1990: 230).

40 (Dembinski 1990: 82).

pomeniți o singură dată în carte.⁴¹

Prezența sintezelor despre planificare în literatura din științele sociale este, însă, simptomatică. Dezbateră teoretică, într-o primă formă a ei cel puțin, a luat sfârșit. Ei îi pot lua locul privirile de ansamblu asupra fenomenului.

De asemenea, după 1989, cuvântul *planificare* nu mai este folosit de către cei care continuă ideea de planificare. Cel puțin din acest punct de vedere, greutatea lui 1989 este absolut evidentă.

Numele are însă mai puțină importanță.⁴² Semnificative sunt evoluțiile în plan teoretic și practic. Lerner, de pildă, după cel de al doilea război mondial a abandonat ideea socialistă tradițională (cea care include și naționalizarea principalelor mijloace de producție) și s-a orientat către ideea de economie dirijată.⁴³ Ideea lui Lerner era de a implementa politici menite să servească un interes social fără a recurge însă la colectivizarea economiei sau a distruge democrația.

Dacă privim evoluția situației din punct de vedere practic, observăm cum perspectiva lui Lerner este cea adoptată *de facto* de către politicienii din țările democratice. Ca o ironie (demnă de pana unui Orwell) dacă te uiți atent la acordurile de "liber schimb" vezi cum nu sunt decât convenții complicate referitoare la tot felul de cote de import sau export. Fluxurile migratorii sunt dirijate. Dereglementările din ultimele două decade sunt departe de a fi redus uimitoarea masă de legi și regulamente care dirijează producția și schimburile. Iar unde nu există reglementări amănunțite (ca în cazul Internetului) se cere insistent pe multe voci introducerea lor.

41 (Dembinski 1990: 68) într-un context în care accentul cade mai mult pe contribuția lui Lange. Ideea rolului pieței în socialism, ca la Lange, i se pare însă lui Dembinski incompatibilă cu crezul comunist.

42 Vezi mai sus ce spune Lavoie despre denumirile variate folosite pentru familia conceptelor de planificare.

43 (Lerner 1944). Subtitlul cărții este "Principles of Welfare Economics".

Dispute interne în școala austriacă referitoare la argumentele împotriva planificării

Argumentele lui Mises și Hayek împotriva planificării converg către aceeași concluzie sau sunt divergente? Care ar putea fi divergența? Argumentul lui Mises conduce la concluzia imposibilității calculului economic într-un sistem planificat. Este vorba de o imposibilitate logică. Argumentul lui Hayek ar putea fi interpretat în felul următor: imposibilitatea planificării are o natură practică. Este *practic* imposibil să reunești la centru cunoașterea necesară pentru a calcula soluțiile optime.

Există o serie de autori care susțin ideea divergenței. Salerno, de pildă, susține că există în școala austriacă două paradigme: una care provine de la Hayek și se bazează pe ideea de cunoaștere dispersată între indivizi și alta care-și are originea în opera lui Mises și este articulată în jurul calculului monetar cu prețuri de piață efective.⁴⁴ Diferențele de argumentare în problema planificării și-ar avea astfel originile în paradigme diferite.

Pentru Mises, în interpretarea lui Salerno, una dintre funcțiile cele mai importante ale procesului de piață este furnizarea de date numerice utilizabile în calculul economic. Calcularea profitului monetar permite alegerea acelei utilizări a resurselor care este *de așteptat* să maximizeze satisfacția obținută prin participarea la procesul de cooperare. Fără asemenea date, numai cu evaluări calitative, indivizii nu ar putea continua cooperarea socială.⁴⁵

Salerno creionează apoi un contrast între cooperarea socială bazată pe coordonarea prețurilor (un proces veșnic deschis) și cooperarea socială ca un proces de coordonare a planurilor individuale (care ar conduce la o stare de echilibru, de potrivire ideală a acestor planuri).⁴⁶ Cea din urmă viziune și-ar avea originea în opera lui Hayek. Acesta ar vedea indivizii ca autori de planuri de acțiune, autori care dispun însă de o cunoaștere fatalmente

44 (Salerno 1993: 115).

45 (Salerno 1993: 120).

46 (Salerno 1993: 125-126).

fragmentară. Procesul de cooperare permite coordonarea acestor planuri și utilizarea cu maxim de folos a cunoașterii dispersate. Evident, dacă ar putea reuni cumva cunoașterea fragmentară, planificatorii ar putea coordona planurile individuale și piața ar fi eliminată. Acest proces de coordonare a planurilor nu are însă nici un sens din punctul de vedere al coordonării monetare: rostul acestei coordonări nu este să atingă o stare de perfectă potrivire a planurilor. Rolul ei este să mențină fluiditatea procesului de cooperare socială, nu să-l înghețe într-un punct fix ideal.

Din punct de vedere misesian, arată Salerno, chiar dacă planificatorii ar centraliza toată cunoașterea disponibilă în societate, ei tot nu ar putea calcula în lipsa prețurilor de piață exprimate în termeni monetari.⁴⁷ Calculul economic este problema în cazul planificării, nu cunoașterea de care dispun sau nu dispun planificatorii.

În contrast cu Salerno, Leland B. Yeager crede că nu există o discrepanță între calcul și cunoaștere. Distincțiile gen Salerno între cele două paradigme ale școlii austriece nu ar sta în picioare.⁴⁸

Calculul economic, arată Yeager, intervine în situația în care este de ales între diferite utilizări ale aceleiași resurse. Ar putea fi vorba, de pildă, de un petec de teren din cartierul în care locuiesc sau de alegerea între mijloacele de transport. Chiar în asemenea probleme relativ simple sunt implicate informații extrem de variate. Prețurile ne oferă un rezumat al lor. Fără aceste rezumate nu se pot lua decizii, iar falsificarea rezumatelor nu face decât ca deciziile să fie proaste.⁴⁹

Apoi Yeager ajunge să accentueze semnificația complexității. O gospodărie ar putea fi examinată în totalitatea ei. Lumea economică efectivă este prea complexă, în viziunea lui Mises, pentru a putea fi tratată în același chip.⁵⁰ Pe scurt, o lume

47 (Salerno 1993: 137).

48 (Yeager 1994: 94).

49 Aceasta este o lectură, la rândul ei rezumativă, a unei porțiuni destul de lungi din argumentarea din (Yeager 1994: 95-98).

50 (Yeager 1994: 100).

complexă ridică atât problema calculului, cât și pe aceea a cunoașterii. După Yeager, nu ar fi posibil să se pună problema calculului *economic* și să nu se pună și problema cunoașterii în situația respectivă.

Ceea ce mi se pare neclar în toată disputa de mai sus este cum ar putea fi lămurită distincția dintre diversele tipuri de imposibilitate. Cred că există o strânsă legătură între caracterul imposibilității și criteriile care ne permit să vorbim despre complexitatea cooperării sociale.

Complexitatea și semnificația dezbaterei cu privire la planificare

Ce anume face ca o un proces de cooperare socială să fie complex? Voi reveni la discuția despre planificare și voi încerca să explic neformal un argument împotriva planificării comprehensive.⁵¹

Să presupunem că a fost elaborat un plan extrem de cuprinzător. Fiecare acțiune a oricărui individ din societate este executată doar conform unor instrucțiuni cuprinse în plan. Ar fi vorba, cu alte cuvinte, de examinarea posibilității de a acționa doar conform unui plan universal.

51 O demonstrație formală există într-un text mai vechi de-al nostru "On the Logical Structure of Political Doctrines", *Revue roumaine des sciences sociales*, série de philosophie et logique, 27, no. 4 (1983): 285-293. Demonstrația este construită peste o reconstrucție în termenii modelelor Sneed ale doctrinelor politice ca specificări ale acțiunilor (cu alte cuvinte, planuri – a se vedea prezentarea informală din acest text). Demonstrația de imposibilitate apare în finalul articolului când se discută procesul P de trecere de la o mulțime de persoane și acțiuni la o altă mulțime de persoane și acțiuni. Ea nu depinde foarte mult de reconstrucția anterioară. Orice posibilitate de a prezenta formal acțiunile și specificarea lor într-un plan al cursului tuturor acțiunilor ar putea fi exploatată în același fel. Ideea este de a folosi o teoremă de necalculabilitate formulată în termenii mașinilor Turing (conform unei tehnici dezvoltate de către logicianul Kleene).

Al doilea pas al demonstrației presupune introducerea unei schimbări în planul de mai sus. Despre necesitatea unor asemenea schimbări am discutat deja. La urma urmei, contingente de orice tip pot forța schimbările.

Problema este acum că și schimbarea planului este o acțiune. Or, conform presupunerii deja făcute, orice acțiune este executată doar în baza prevederilor planului cuprinzător. Planul trebuie să cuprindă propriul său plan de schimbare.

În logica matematică, există o serie de rezultate, privitoare la incompletitudinea sistemelor logice, la necalculabilitatea unor funcții, aparținând lui Gödel, Turing, Church și altor autori. Un sistem logic suficient de bogat, de exemplu, nu poate fi și consistent, și complet. Nu toate funcțiile sunt calculabile și așa mai departe.

Tehnicile logice dezvoltate pentru a formula teoremele amintite pot fi extinse la cazul planului care ar conține indicațiile pentru propria sa schimbare în orice situație. Planul ar fi, cu alte cuvinte, complet. Este oare acest lucru posibil din punct de vedere strict logic? Nu este. Demonstrația formală ca atare este destul de sofisticată, dar schema ei este relativ ușor de înțeles. Se definește o astfel de schimbare a planului încât dacă schimbarea poate fi operată acest lucru se face doar cu prețul inconsistenței logice. Dacă planul rămâne logic consistent, atunci el nu poate conține indicații pentru propria sa schimbare.

Două comentarii se impun. Corolarul argumentului de mai sus este că nu pot exista în principiu planuri universale și consistente logic. Dacă sunt consistente, atunci nu pot fi universale. Cu alte cuvinte, schimbările nu pot veni decât din confruntarea într-un fel sau altul a mai multor planuri.

Nici teama lui Salerno că planurile parțiale ar putea fi agregate într-un plan atotcuprinzător nu stă în picioare. Procesul de cooperare socială poate funcționa foarte bine în condițiile în care există o diversitate de planuri. Dar aceasta nu înseamnă că ele pot fi agregate într-unul singur (oricare ar fi concesiile, corecturile etc. operate pe parcurs!).

Al doilea corolar este foarte important din punct de vedere

practic. Planul poate fi universal, dar atunci este logic inconsistent. Or, din ceva logic inconsistent se poate deduce orice. Un dictator poate foarte bine îmbrățișa ideea unui plan universal. Dar aceasta nu este decât o cale de a justifica arbitrarul. Din planul inconsistent se deduce orice. Dictatorul poate da orice indicații și continua să susțină că se conformează planului.

Cineva ar putea însă obiecta considerațiilor de mai sus caracterul lor foarte abstract. Nimeni nu a avut în vedere planificarea cuprinzătoare în sensul de mai sus. Care ar fi semnificația demonstrației de imposibilitate?

Și, totuși, demonstrația este importantă. Termenii discuției despre imposibilitatea planificării s-au schimbat. Planificarea este logic imposibilă în forma ei cuprinzătoare. Cei care trebuie să se mulțumească acum cu soluții practice sunt planificatorii.

Sistemul de planificare propus de Lange ar putea fi o asemenea soluție practică. Dar el ridică o mare problemă. Pentru a nu cădea sub incidența demonstrației de imposibilitate regula (regulile) pe care o (le) aplică planificatorii ar trebui să fie suficient de simplă(e)! De exemplu, s-ar putea spune că planificatorii se mulțumesc doar să observe devierile de la prețul de echilibru și încearcă să dea prin corecturi succesive peste acesta. Dar Lange vrea, de fapt, mai mult decât atât. Ar vrea să introducă în costul de producție cât mai multe elemente din costul social. Or, aici problemele sunt complicate. Dacă fabrica X poluează terenul Y, ce ar fi de făcut? Să fie închisă fabrica? Să fie pusă la plată? Poate este mai eficient să fie plantată pe terenul Y o perdea de arbori care filtrează aerul! Ce mai fac planificatorii în asemenea cazuri.⁵² Sau poate nici nu se decide pe baza eficienței? Decizia ar avea la bază teorii etice. Este implauzibil că ele nu s-ar schimba.⁵³ Dacă

52 Pentru o prezentare antrenantă a dificultății unor asemenea cazuri, vezi (Friedman, David 1987).

53 John Rawls, cel care a decantat din punct de vedere filosofic concepțiile gen Lange-Lerner, și-a schimbat punctul de vedere de la a sa *A Theory of Justice* la *Political Liberalism*. Astfel de schimbări argumentate complicat nu ar putea rămâne fără ecou asupra unor planificatori sofisticați.

planificatorji nu ar schimba deloc regulile lor, atunci ei ar fi mult prea simpliști. Cu alte cuvinte, planificarea practică este în mod necesar asociată cu forme rudimentare de cooperare socială.

În concluzie, imposibilitatea planificării este un criteriu al complexității cooperării sociale. Lucrul acesta nu este surprinzător. Sistemele logice, de pildă, dacă sunt mai puțin bogate în mijloace de exprimare, sunt și consistente, și complete. În genere, nimic ciudat nu se întâmplă dacă sistemul este simplu. Doar sistemele suficient de bogate au proprietăți, de genul incompletitudinii. Când sistemul devine mai complex, încep să se întâmple și fenomene ciudate.

Tendința de a planifica ascunde, poate, tocmai dorința de a transforma cooperarea socială într-un proces simplu, lin, lipsit de ciudățenii. Este însă logic imposibil ca acest proces de cooperare să conducă la rezultatele pieței libere.

Prelucrarea datelor

Până aici rezultatele sunt, ca să spunem așa, pur negative. Ele se referă la ceea ce este imposibil, nu la felul în care decurge procesul de cooperare.

Înainte de a trece mai departe, ni se pare util să introducem o observație cu privire la școala austriacă, la care ne-am referit adesea mai sus. Atât Mises, cât și Hayek și alți membri ai școlii resping utilizarea modelelor matematice în științele sociale. Nouă ni se pare că acesta este mai degrabă un mod de a slăbi forța propriilor argumente. În cazul demonstrației de imposibilitate a planificării credem că ea ar beneficia de altă receptare dacă ar fi construită formal, nu intuitiv. În plus, caracterul logic al imposibilității ar deveni limpede.

Aceeași problemă apare și în cazul discuției pozitive. Ceea ce urmează sunt unele considerații cu privire la o posibilă strategie de analiză pozitivă a calculului economic și a cunoașterii utilizate în societate.

Discuția este inspirată de două cunoscute modele ale prelucrării datelor. Aceste modele sunt folosite atât pentru a

proiecta computere sau programe de calculator, cât și în încercările de înțelegere a minții omenеști.⁵⁴

Primul model implică o prelucrare centralizată a datelor. Vom înțelegе modelul ca pe o descriere a unui proces, conform schemei de mai jos.

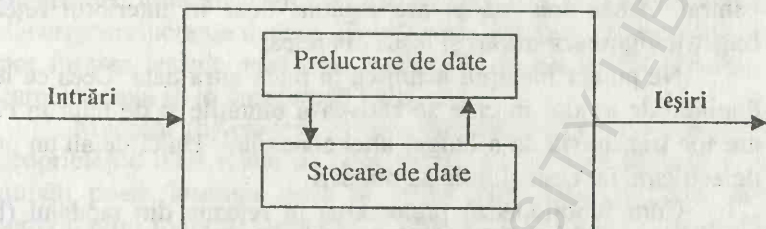


Figura a) Modelul cu prelucrare centrală

Chiar și atunci când scriem programe modelul (a) poate să ne creeze probleme. Programul nu este altceva decât un șir de instrucțiuni de prelucrare a datelor. În modelul (a) trebuie pus în program în mod explicit tot ce este necesar pentru a prelucra datele. Aceasta presupune, evident, transformarea în cunoaștere explicită a întregii cunoașteri privitoare la prelucrarea datelor ce vin pe fluxul de intrare.

Soluția alternativă este un model cu o rețea de unități. Unitățile sunt legate între ele prin conexiuni. Fiecare unitate se poate activa, în funcție de intrările sale, și va acționa către alte unități. Fiecare conexiune are asociată o pondere (o valoare pozitivă sau negativă), care permite, de fapt, varierea intrărilor către unități. Nu vom discuta în amănunt modelul⁵⁵ Ceea ce ne interesează aici sunt câteva trăsături fundamentale ale sale: prezența unei rețele, faptul că fiecare nod (sau unitate) a rețelei

⁵⁴ Pentru o trecere în revistă enciclopedică asupra acestor probleme v. (MITECS 1999).

⁵⁵ Cunoscut sub numele de "rețea conexiunistă" sau "rețea neurală", pentru că este inspirat de structura de bază a creierului.

poate acționa trimițând un “mesaj” oarecare către unități cu care este conexată.

Figura (b) prezintă în mod schematic modelul. Aici nu mai există o zonă sau o unitate centrală de prelucrare. Unitățile sunt figurate ca noduri ale rețelei. Nodul din mijloc nu este un nod central. Atâta doar că el are legături doar în interiorul rețelei. Săgețile figurează intrări și ieșiri din rețea.

Ne putem închipui acum că în rețea intră date. Ceea ce iese depinde de modul în care se activează unitățile și de felul în care are loc transmisia de-a lungul unei conexiuni. Unitățile au un prag de activare, iar conexiunile au ponderi.

Cum funcționează prelucrarea în rețeaua din modelul (b)? Spre deosebire de modelul (a), aici nu este nevoie de indicarea explicită a acțiunilor unităților. Cunoașterea rămâne implicită sau, în orice caz, poate să rămână implicită.

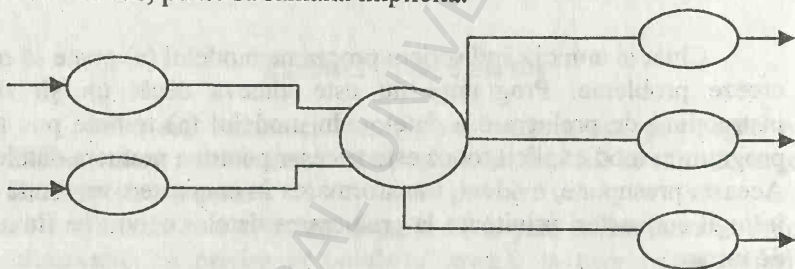


Figura b) Modelul de prelucrare în rețea

Cele două modele sunt foarte abstracte și vrem să le folosim în continuare doar pentru a prezenta contrastul dintre cunoașterea încorporată în structuri mulate după cele două modele.

Cunoaștere și rețele de cooperare

Nu discutăm aici relevanța modelelor (a) și (b) pentru mintea umană. Ceea ce ne interesează este modul în care pot fi reprezentate tipurile de procese de cooperare dintre indivizi. Intuiția noastră este că, la nivelul societății, statutul acestor modele este diferit de cel pe care-l au în cazul minții. Nu există o “minte

socială”, un soi de suflet al societății.

Faptul că nu există o “minte socială” nu înseamnă însă că orice cunoaștere este stocată în mintea indivizilor.⁵⁶

Dificultatea majoră a modelului (a), în cazul cooperării sociale, este pusă în evidență de dificultățile discutate mai sus ale planificării. Planificatorii ar trebui să specifice explicit felul în care decurge prelucrarea datelor. Acest lucru este însă imposibil și ei nu pot furniza ieșirile așteptate (indicațiile cu privire la acțiunile pe care urmează să le întreprindă indivizii).

Modelul (b) credem că este mai adecvat pentru a surprinde proprietățile unei rețele de cooperare. Declanșarea acțiunilor unei unități poate însemna ceva de genul unui serviciu făcut de un individ altui individ. Dacă este vorba de un schimb, serviciul făcut este însoțit de un contraserviciu sau de transferarea unor bunuri. Rolul banilor, conform explicației clasice, este de a fi, de fapt, cantități de bunuri acceptate de către orice individ, ceea ce facilitează, evident schimburile.

Ceea ce se întâmplă în rețea depinde nu doar de pragurile de activare a unităților, ci și de ponderile atașate conexiunilor. Rețeaua se schimbă pe măsură ce se schimbă valorile pragurilor și ponderilor.

În ce sens s-ar putea vorbi de o cunoaștere stocată în rețea? Evident, nu în sensul în care vorbim de cunoașterea de care dispune o minte umană care prelucrează conștient date. Dar, în măsura în care rețeaua le permite indivizilor să interacționeze ordonat unii cu alții, ea are încorporată o cunoaștere, cam așa cum pot spune că există o cunoaștere încorporată în planuri sau programe.

Rețeaua diferă însă fundamental de planuri din pricină că stocarea cunoașterii se face distribuit. Nu există un punct sau o unitate a rețelei care să stocheze un anume fragment de cunoaștere. Dacă rețeaua se deteriorează într-o zonă a ei, ea se poate reface și poate funcționa cam așa cum funcționa și înainte. Aceasta ar fi interpretarea pe care am putea să o dăm cunoașterii dispersate de care vorbește Hayek. Deosebirea ar fi în faptul că nu este vorba despre fragmente stocate localizat, în diverse puncte ale rețelei.

⁵⁶ În acest punct ne-am separa de ceea ce pare implicit cel puțin punctul de vedere din (Hayek 1945), conform căruia cunoașterea fragmentată se găsește dispersată în mintea doar a indivizilor.

Ipoieza noastră este că rețeaua de cooperare în sensul de mai sus ne permite să modelăm nu doar distribuirea cunoașterii, ci și calculul economic de care vorbește Mises.

Partea care apare multora drept implauzibilă în calculul economic este ideea că indivizii ar face tot felul de socoteli în minte. Tuturor ne este limpede că nu facem asemenea calcule sau, atunci când le facem, nu-și au practic rostul. Câți dintre noi fac tentativa de a-și construi în mod explicit un buget, cu cheltuieli structurate pe diverse capitole? Încercați și veți vedea că vi se pare că nu vă ajung banii pentru a face nimic. În realitate, reacționăm la diversele inputuri care ne vin prin rețeaua la care participăm. Numeroase oferte ne sunt făcute. Nu toate declanșează reacțiile noastre. Unele o fac. Dacă resursele monetare încep să se termine, evident și reacțiile noastre se modifică. Oricum, chiar dacă am încerca să procedăm altfel am fi blocați de lipsa de resurse monetare.

Pe de altă parte, cred că ar trebui ținut cont de faptul că rețeaua ca atare contribuie la calculul economic. Conexiunile nu sunt concepute doar ca niște benzi rulante pe care se transmit de la unii la alții bunuri. Ele au asociate ponderi. Rețeaua de cooperare ca atare atunci când se tot modifică rezolvă problemele legate de calcule.

Cunoaștere și instituții

Planificarea constrânge indivizii: îi constrânge să nu utilizeze prețuri sau să utilizeze prețuri fixate de către autoritatea planificatoare; îi constrânge să intre în anumite rețele de cooperare și să nu intre în altele. Planificarea este, în sensul din știința socială al termenului, o *instituție*⁵⁷.

Nu sunt constrângerile "legitime" sau, dacă nu îndreptățite, cel puțin inevitabile? Aceasta este o întrebare comună. Substratul ei pare a fi acela că, oricum, niște constrângeri trebuie să existe. Cazul planificării este extrem de interesant pentru că el ne arată că există două tipuri de constrângeri din perspectiva cunoașterii utilizate în societate.

Un prim tip de constrângere este cel care te obligă să urmezi

57 Douglass North consideră că instituțiile sunt constrângeri care înstructurează interacțiunile politice, economice și sociale (North 1991: 97).

un anumit tipar al acțiunii. Autoritatea care exercită constrângerile poate să te pună să urmezi tiparul respectiv sau poate să te lase să acționezi și apoi să verifice dacă ai ieșit sau nu din tipar și să te sancționeze sau nu, după caz. Tiparul folosit este cel care încorporează cunoașterea, cel puțin cea socotită utilă. Așa cum am văzut mai sus, acest tip de constrângere are prețul său din perspectiva complexității procesului de cooperare socială.

Cealaltă perspectivă nu tratează instituțiile ca pe seturi de tipare după care trebuie să ne mulăm comportamentul, ci ca pe mijloace de a face ca procesul de cooperare să meargă înainte, să nu se stranguleze. Presupoziția este că avem de a face cu o cunoaștere distribuită într-o rețea de cooperare și important este ca ea să fie fructificată. Nu există nici o pretenție de a ști cum anume trebuie procedat.

Distincția de mai sus nu este una de ordin moral. Constrângerile nu sunt examinate din perspectiva legitimării morale.

Cred că implicațiile distincției se văd foarte bine dacă examinăm faimoasa problemă a formelor fără fond altfel decât în maniera tradițională. Problema a fost văzută ca o problemă a decalajului dintre instituții transplantate din Vest și "solul" local (condițiile locale).

Cei favorabili transplantului de instituții le văd, evident, ca pe niște tipare demne de urmat. Criticii conservatori cred că transferul nu are șanse de reușită. Instituțiile de import vin doar ca niște forme golite de cunoașterea care nu poate fi separată de fundamentele ei în condițiile din străinătate. Criticii tradiționaliști văd chiar un conflict între forme și cunoașterea locală, încorporată, de regulă, în obiceiuri, coduri locale de conduită etc.

Alternativa ar fi să vedem toată problema ca pe o problemă de cooperare. Adevărata dificultate rezidă în conectarea unor rețele de cooperare. Formele instituționale sunt evident fără fond atunci când sunt transplantate de dragul de a fi transplantate. Important ar fi dacă ele facilitează sau nu utilizarea cunoașterii disponibile în rețelele de cooperare.

Rostul veritabil al instituțiilor ar fi astfel acela de a menține viu procesul de cooperare, nu de a-l mula după un tipar sau altul.

BIBLIOGRAFIE

1. (Dembinski 1990) Dembinski, Pawel H., *The Logic of the Planned Economy* (Oxford: Clarendon Press, 1990) 250 p.
2. (Friedman, David 1987) Friedman, David, Law and Economics, in (New Palgrave 1987, vol.3 : 144-148).
3. (Hausman 1993) Hausman, Daniel (ed.), *Filozofia științei economice* (București: Humanitas, 1993) 372 p.
4. (Hayek 1935a) Hayek, F. A., Nature et historique du problème, *L'économie dirigée en régime collectiviste* (Paris: Medicis, f.a.) : 11-48.
5. (Hayek 1935b) Hayek, F. A., Etat actuel de la discussion, *L'économie dirigée en régime collectiviste* (Paris: Medicis, f.a.) : 203-243.
6. (Hayek 1945) Hayek, F. A., The Use of Knowledge in Society , *The American Economic Review* 35, no. 4 (1945) : 519-530.
7. (Hayek 1994) Hayek, F. A., The Theory of Complex Phenomena, in (Martin & McIntyre 1994: 55-70).
8. (Hoff 1981) Hoff, Trygve J. B., *Economic calculation in the socialist society* (Indianapolis: Liberty Fund, 1981) 410 p.
9. (Lange 1936) Lange, Oskar, On the Economic Theory of Socialism, *The Review of Economic Studies* 4, no.1 (1936) :55-71.
10. (Lange 1937) Lange, Oskar, On the Economic Theory of Socialism, part II, *The Review of Economic Studies* 4, no.2 (1937) :123-142.
11. (Lavoie 1985) Lavoie, Don, *National Economic Planning: What is Left?* (Cambridge, Mass.: Ballinger, 1985) 294 p.
12. (Lerner 1934) Lerner, Abba P., Economic Theory and Socialist Economy, *The Review of Economic Studies* 2, no. 1 (1934) : 51-61.
13. (Lerner 1937) Lerner, Abba P., Statics and Dynamics in Socialist Economics, *The Economic Journal* 47, no. 187 (1937) : 253-270.
14. (Lerner 1944) Lerner, Abba P., *The Economics of Control* (New York: MacMillan, 1944) 428 p.
15. (Martin & McIntyre 1994) Martin, Michael & Lee C. MacIntyre, *Readings in the Philosophy of Social Science* (Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1994) 786 p.
16. (Mises 1981) Mises, Ludwig von, *Socialism* (Indianapolis: Liberty Fund, 1981) 572 p.
17. (MITECS 1999) Wilson, Robert A. & Frank C. Keil (editori) , *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1999) 964 p.

18. (New Palgrave 1987) John Eatwell et al.(editori), *The New Palgrave: A Dictionary of Economics* (Londra: McMillan, 1987) 4 vol.
19. (North 1991) North, Douglass C., Institutions, *Journal of Economic Perspectives*, 5, no. 1(1991) : 97-112.
20. (Salerno 1993) Salerno, Joseph T., Mises and Hayek Dehomogenized, *The Review of Austrian Economics* 6, no. 2 (1993) : 113-146.
21. (Vaughn 1981) Vaughn, Karen, Introduction, in (Hoff 1981: IX-XXXVII).
22. (Yeager 1994) Yeager, Leland B., Mises and Hayek on Calculation and Knowledge, *The Review of Austrian Economics* 7, no. 2 (1994) : 93-109.

DISCURS ȘI EMERGENȚĂ SAU O IPOTEZĂ DIALOGICĂ A DISCURSULUI

Romulus Brâncoveanu

Dorința spune: "nu aș vrea să fiu nevoită să intru eu însumi în această ordine primejdioasă a discursului ; n-aș vrea să am de-a face cu ceea ce este tranșant și decisiv în ea; aș vrea ca această ordine să fie în jurul meu ca o transparență calmă, profundă, indefinit deschisă, în care ceilalți ar răspunde așteptării mele și din care ar apărea, unul câte unul, adevărurile; n-ar mai trebui decât să mă las purtat, în ea și de către ea, ca o epavă fericită".

FOUCAULT

Emergența: termen și aproximări

Emergența reprezintă un fenomen demn de mirarea noastră, deși

[cu] emergența ne confruntăm, în fiecare zi, în sistemele adaptative complexe - coloniile de furnici, rețelele neuronale, sistemul imunitar, Internetul și economia globală, pentru a numi numai câteva - în care acțiunea întregului este mult mai complexă decât acțiunea părților. Întrebări profunde ținând de condiția umană depind de înțelegerea proprietăților emergente ale unor asemenea sisteme. Cum emerg sistemele vii din legile fizicii și chimiei? Putem explica conștiința ca o proprietate emergentă a unui anumit tip de sisteme fizice? Nu

vom cunoaște limitele răspunsurilor științifice la asemenea întrebări până când nu vom înțelege de ce și cum se manifestă proprietățile emergente.¹

Așadar, s-ar părea că emergența reprezintă ceva mai mult decât reîmpropăatarea mirării față de lucruri cărora nu le-am acordat atenția cuvenită, pe care le credeam deja explicate sau pe care le explicăm mai greu (nu le putem explica deocamdată):

Teoria emergenței afirmă că există anumite ansambluri, compuse din constituenți A, B și C aflați într-o relație reciprocă R; că toate ansamblurile compuse din constituenți de același fel cu A, B și C aflați într-o relație de același fel cu R au anumite proprietăți caracteristice; că A, B și C pot să intervină în alte feluri de complexe unde relația nu este de același fel cu R; și că proprietățile caracteristice ale ansamblului R (ABC) nu pot, chiar în teorie, să fie deduse din cea mai completă cunoaștere a proprietăților lui A și B și C în izolare sau în alt ansamblu care nu este de forma R (ABC).²

Proprietățile emergente aparțin întregului ca atare și nu rezultă din proprietăți ale părților. Tot ce înseamnă mai mult provenit din mai puțin, complex provenit din simplu, ordonat provenit din elemente mai puțin ordonate sau lipsite de ordine ar putea prezenta caracteristica emergenței. Diferitele teorii consideră, în mare, patru caracteristici de tip emergent: nepredictibilitatea, noutatea, variabilitatea, efectul cauzal descrescător.³

Cunoașterea emergenței presupune abordarea relației parte-

¹ J. H. Holland (1998), *Emergence. From Chaos to Order*, Oxford: Oxford University Press, p. 2

² C. D. Broad (1925), *The Mind and Its Place in Nature*, New York: Harcourt, Brace and Company, p. 61, citat în D. V. Newman (2001) "Chaos, Emergence, and the Mind-Body Problem", în *Australasian Journal of Philosophy*, 79 (2), pp. 180 – 196

³ R. L. Klee (1984) "Micro-Determinism and Concept of Emergence", *Philosophy of Science*, 51, pp. 44-63

întreg la același nivel de organizare sau la niveluri diferite. Organismul, nașterea și adaptarea par metafore mai potrivite pentru a descrie emergența decât sunt mecanismul, producerea și forța. În explicarea emergenței se pot adopta două strategii: o strategie reduționistă, constând în încercarea de a explica emergența întregului prin structuri sau regularități care se manifestă la niveluri mai elementare, și o strategie holistă, în care proprietățile emergente sunt explicate numai prin structuri și regularități de la același nivel (urmată și în acest studiu).

Emergența caracterizează deopotrivă sistemele fizice, biologice, sociale și culturale. Unul dintre cele mai izbitoare, deși familiare, fenomene emergente este vorbirea. Indivizii își însușesc o anumită limbă, în copilărie sau prin studiu, pe care o utilizează într-un mod liber și creator. În vorbirea vie nu știm de unde și cum vin cuvintele, ce urmează să rostim, din ce cauză spunem cum tocmai spunem. Vorbirea este o chintesență de spontaneitate, iar tot ceea ce se ivește în vorbire este nou și irepetabil:

În realitate, limbajul este ceva ce trece mereu și chiar în fiecare clipă. Chiar conservarea sa prin scris nu este o conservare completă, ci mereu modificată, care trebuie de fiecare dată să reînvie în vorbire. Limbajul însuși nu este o operă, ci o activitate. Adevărata sa definiție nu poate deci să fie decât genetică. Căci el este efort fără încetare repetat al spiritului de a face sunetul articulat în stare să exprime gândirea. Luată în sens imediat și strâmt, aceasta este definiția vorbirii; dar în sens larg și esențial, nu se poate considera limba ca totalitate a acestei vorbiri. Căci în haosul dispersat de cuvinte și de reguli pe care avem obișnuința de a-l numi limbă, nu există decât individualul produs de această vorbire, de altfel niciodată în mod integral; ea pretinde la rândul ei un nou travaliu pentru ca să fie identificat modul vorbirii vii și ca să fie obținută o imagine conformă a limbii vii. Ceea ce este mai elevat și mai fin nu se poate recunoaște în aceste elemente separate și nu poate fi perceput sau presimțit decât în lanțul discursului (ceea ce dovedește cu atât mai mult că limbajul se

realizează în actul vorbirii). Numai acest discurs trebuie considerat adevărat și primordial. Disecția limbii în cuvinte și reguli de întrebuintare nu e decât un artificiu mort de operații descriptive.⁴

Scopul și structura argumentului

Acest studiu nu evidențiază caracteristici emergente în sfera limbajului în genere (deși la sfârșit tocmai de acestea va fi vorba). Limita sa de interes o reprezintă discursul și interpretarea dialogică a acestuia pe urmele teoriilor lui M. Bahtin, J. Habermas și F. Jaques. Ipoteza de lucru este aceea că o mai bună înțelegere a naturii dialogice a discursului ar putea contribui la luminarea mai adâncă a unor aspecte privind spontaneitatea și noutatea vorbirii. În acest studiu, concepțiile lui Bahtin, Habermas și Jaques despre discurs și dialog sunt pe de o parte extinse, pe de altă parte restrânse. Atât extinderea cât și restrângerea pornesc de la sugestii prezente în teoriile de referință. Extinderea constă în presupunerea naturii dialogice a discursului dincolo de înțelegerea sa preponderent stilistică, la Bahtin, comunicatională și socială, la Habermas și Jaques. Dialogismul este înțeles ca o caracteristică intrinsecă a discursului și ca un eveniment în interiorul acestuia. Orice discurs este produs printr-un dialog între sub-discursuri. Restrângerea constă în dezafectarea aspectului colectiv al constituirii limbajului, asumat într-un fel sau altul în teoriile de referință, separarea acestui aspect de producerea discursului și ignorarea pretențiilor fundamentale revendicate pentru principiul dialogismului (Bahtin), vorbire ideală (Habermas), dialogism (Jaques). Argumentația mea are drept scop clarificarea naturii intrinsec dialogice a discursului, mai cu seamă pentru acele forme ale producerii și desfășurării discursive considerate în mod curent monologice (scrise și formalizate).

⁴ H. von Humboldt (1988/1991), "Fragmente lingvistice" în *Secolul XX*, pp. 161 - 165

Pretențiile pe care le ridic sunt minime: a identifica pentru aceste forme considerate în mod curent monologice condiții pragmatice care să facă plauzibilă desfășurarea unui dialog în cadrul lor. În pofida acestui minimalism, aici se află partea gingașă a întregii argumentații (slăbiciunile și în același timp, sper, virtuțile ei) ramificată în două direcții care înaintază când paralel, când suprapunându-se. În prima direcție se aruncă o punte, cam amețitoare, între premisa dialogică a discursului în formulă bahtiană (orientare internă - orientare externă a discursului), conceptul habermasian de discurs ca ridicare a unor pretenții de validitate cu privire la sensuri și dualismul fregeean context / sens direct - context / sens indirect. A doua direcție atacă ideea monologică a discursului. Discursului științific în genere și în limbaje formale este luat ca exemplu. Posibilitatea dialogului în asemenea discursuri este afirmată pe baza unor scheme dialogice de tip retoric și a identificării unei breșe pragmatice în proiectul lui Frege de realizare a unui limbaj formal autosuficient. Cele două direcții în care înaintez se adună, apoi, pentru a fixa conceptul dialogic al discursului. Orientarea către replică este interpretată ca vorbire anticipată, iar ridicarea pretențiilor de validitate ca virtualizare a sensurilor, sugestii existente în concepțiile originale ale lui Bahtin și Habermas, reluate și explicitate, de altfel, pe tot parcursul argumentației. Înțeles astfel, discursul dialogic poate explica spontaneitatea și survenirea continuă a noului în vorbire. Concluzia ar fi că discursivitatea de tip cartezian bazată pe o înțelegere reprezentatională și fundaționistă a sensurilor trebuie înlocuită cu imaginea unei ordini discursive în care provizoratul sensurilor e manifest. Studiul se încheie cu o încercare de a legitima concepția provizoratului sensurilor prin trei metafore ale discursului, discursul peste gardul grădinii, discursul geamantan și discursul caleidoscop (probabil că metafora corespunzătoare modalității discursive proprii acestui studiu este aceea a discursului geamantan).

Trebuie spus că efortul îngroșării unor contururi, vizibil în această prezentare, nu continuă de parcursul studiului. De asemenea, în textura argumentației apar concepte și legături care nu au fost pomenite până aici, poate mai importante decât ceea ce am ținut neapărat să consemnez. Există, nu-mi fac iluzii, destule perioade

neclare, pasaje încâlcite, lucruri spuse de mai multe ori și poate contradictoriu. Oricum însă, dacă acceptăm ideea dialogică a discursului, o asemenea situație este consonantă cu premisa multitudinii instanțelor discursive libere să vorbească *pre* limba lor asemenea personajelor unui roman.

Enunțare monologică și discurs

Discursul reprezintă metafora cea mai cuprinzătoare a emergenței, de vreme ce în tradiția creștină Dumnezeu a creat lumea prin discurs. Să plecăm totuși de la ideea că discursul reprezintă o exprimare. În acest sens, prin discurs putem să înțelegem un cuvânt, o propoziție, un text, ceva care într-un fel sau altul privește un comportament lingvistic și are drept rezultat o *virtualizare a sensurilor*. Crainicul pentru surdomuți care însoțește unele jurnale de știri figurează și el, așa-zicând, discursuri. Deoarece comportamentele lingvistice sunt diverse, când auzim vorbindu-se despre "discursul cinematografic", de exemplu, expresia nu trebuie înțeleasă neapărat figurativ: există și altfel de discursuri decât cele verbale sau reprezentând reproduceri ale acestora (dar nu asupra acestora din urmă voi stăruî). Ca acte performate în vorbire sau în scris, discursurile sunt considerate structuri monologice, deoarece rostirea este individuală (argumentul ar putea fi unul din aria individualismului metodologic, putem scanda laolaltă, dar dacă ne oprim, pe rând sau toți deodată, actantul și actul dispar). Enunțarea este, așadar, întotdeauna monologică (în timp ce înțelegerea este întotdeauna dialogică). Întrucât enunțarea este monologică, s-ar părea că structura dialogică a discursului reprezintă o contradicție în termeni, iar într-un discurs dialogul n-ar putea fi prezent decât ca o convenție narativă. Discursul nu poate fi de aceea decât monologic. Concepția monologică este contrazisă însă de Mihail Bahtin care a sugerat o înțelegere dialogică a discursului. În conformitate cu concepția sa, enunțarea este monologică, însă discursul este parte dintr-un dialog:

Conform gândirii stilistice tradiționale, discursul se cunoaște numai pe sine (contextul său), nu cunoaște decât obiectul său, expresia sa directă și limbajul său unic. Un alt discurs aflat în afara contextului său nu este pentru el decât un discurs neutru, un discurs al nimănui, o simplă posibilitate de vorbire. În concepția stilisticii tradiționale, discursul direct, orientat spre obiect nu întâlnește decât opoziția obiectului însuși, caracterul său ineputabil, calitatea sa de a nu putea fi exprimat deplin prin discurs, dar în drumul său spre obiect nu întâlnește împotrivirea fundamentală a discursului „străin”.⁵

Împotriva viziunii tradiționale, Bahtin afirmă:

Un enunț viu, apărut semnificativ într-un moment istoric determinat, nu poate să nu atingă miile de fire dialogice țesute de conștiința social-ideologică în jurul acestui enunț, nu poate să nu participe la dialogul social. Fiindcă acest enunț rezultă din dialog ca replică și continuare a lui și nu poate aborda obiectul venind de undeva de aiurea.⁶

Concepția lingvistului rus conține două observații importante. Prima este distincția dintre conținutul "obiectiv" al unui discurs, acela al orientării interne către obiect, cuvintele și enunțurile în acest context fiind denotative - referința internă a discursului -, și orientarea externă către alte discursuri - care constituie referința sa externă:

Orice discurs este orientat către un răspuns și nu poate scăpa de influența profundă a discursului-replică prevăzut... El este determinat de ceva ce n-a fost încă exprimat, dar forțat și deja prevăzut în cuvântul de răspuns.⁷

⁵ M. Bahtin (1992), "Discursul poetic și discursul românesc" în M. Bahtin, *Probleme de literatură și estetică*, București: Univers, p. 130

⁶ Ibidem

⁷ Ibidem, p. 135

A doua observație întărește faptul că orice discurs participă la un dialog mai general care se desfășoară într-o comunitate sau într-o cultură. Bahtin subliniază importanța orientării externe a discursului, considerând dialogul o condiție a oricărui discurs: orice discurs se află din capul locului în relație cu alte discursuri și nu poate fi înțeles în afara dialogului pe care îl întreține cu acestea. În viziunea lui Bahtin, în discurs ceea ce este extern este mai important decât ceea ce este intern, iar întregul dă sens părților. Dialogul discursiv ar putea fi înțeles ca vorbire anticipată întrucât orice discurs anticipează și este construit în funcție de replica pe care ar primi-o. Prin urmare, putem spune că un cuvânt nu poate fi determinat din punctul de vedere al înțelesului său decât în cadrul unui enunț (Frege), un enunț nu poate fi apreciat din punctul de vedere al raționalității sale (Toulmin) și chiar al valorii sale de adevăr (Habermas) decât în contextul discursului în care apare, iar un discurs nu se poate constitui decât în dialog.

Dialogul desemnează în mod obișnuit o situație de comunicare, implicând într-un fel sau altul două persoane, sau un procedeu, o convenție literară. În fapt, numai oamenii dialoghează. Actele de vorbire le aparțin. Oamenii dialoghează interacționând și orientându-și reciproc replicile. Specificul dialogului ca formă de interacțiune verbală este acela că reprezintă o formă vie de vorbire, evenimentială, existența unor replici, fiecare dintre replicanți orientându-și discursul ad-hoc și de multe ori imprevizibil pentru celălalt. Oricare alte instanțe care performează vorbirea sunt convenționale și o fac în mod figurat, fiind reprezentări de o natură sau alta ale instanțelor individuale omenești. De asemenea, multe discursuri se desfășoară în cadre și îmbracă forme, cum ar fi limbajele formalizate, care par să excludă situația dialogică vie (cineva care a urmărit un profesor de matematică sau de fizică ținându-și cursul m-ar putea contrazice de pe acum). De aceea, cât de firesc rămâne să admitem că discursul este o formă dialogică originară, că "dialogul între discursuri" poate lua altă formă decât aceea din cadrul unei discuții, a unei comunități sau culturi? Un răspuns pozitiv apăsător (împotriva căruia, de altfel, nu am nimic împotriva) ar avea o consecință ontologică: nu diferitele instanțe individuale sau figurate performează discursuri, ci vorbirea

însăși. (Discursul se vorbește pe sine. "Cartea care te citește" sună sloganul unei edituri, dar nici poezii care declară că nu ei scriu poezie, ci poezia îi scrie pe ei, nu sunt puțini.) Răspunsul meu este că orice discurs are o structură dialogică și nicidecum monologică. O mai bună reprezentare a acestui răspuns s-ar obține închipuindu-ne că un autor dramatic scrie o piesă de teatru cu mai multe personaje. Publicând-o, el nu menționează numele și numărul personajelor, caracterul acestora și nici măcar nu marchează replicile, provocându-ne să le descoperim și să le identificăm. Eu susțin că discursul ar putea semăna cu o asemenea piesă de teatru. "Replicile" curg, una după alta, "personajele" intră și ies din scenă, dar din punctul de vedere în care ne aflăm, fără ipoteza dialogului între discursuri, nu avem prea bine nici conștiința clară că asistăm la un schimb de replici și la întretărirea acestora și nici nu ajungem cu privirea la cine le rostește. Ceea ce ni se pare a fi un unic discurs seamănă cu o asemenea piesă de teatru, scrisă fără a menționa personajele și a distinge între replicile lor. Sau poate cu una văzută dintr-un asemenea loc încât acuitatea surprinderii amănuntelor evoluției personajelor este extrem de scăzută. Chiar și într-o expunere de tip științific, ca de altfel în orice construcție teoretică, trebuie să descoperim, în pofida aparențelor de unitate monologică, structura dialogică, discursurile componente, "personajele" și „replicile” pe care și le adresează. Paradoxal, dacă lucrurile stau astfel, atunci trebuie să acceptăm că, la rândul nostru, vorbim cu mai multe voci, într-o structură dialogică, chiar și atunci când ne străduim să pronunțăm cel mai coerent și monologic discurs.

Concepția lui Habermas despre discurs

Spre deosebire de acțiunea comunicativă, în care sunt schimbate informații și în care validitatea corelațiilor de sens este presupusă în mod naiv, de la sine, așa cum susține J. Habermas, prin discurs se expun, se problematizează și se sistematizează diverse

pretenții de validitate ridicate în legătură cu opinii.⁸ Acțiunile comunicative pot fi verbale și extraverbale (de exemplu, mimica feței sau anumite gesturi asimilate trăirilor). Spre deosebire de acțiunile comunicative, un discurs reprezintă o totalitate autonomă de enunțuri. El admite tematic numai exprimările lingvistice și survine atunci când trebuie să se restabilească prin întemeiere un acord de sens (un *consens*) care a existat în acțiunea comunicativă. Dacă este așa înseamnă că discursul se naște prin ridicare de pretenții de validitate asupra sensurilor. Putem extinde concepția lui Habermas dincolo de granițele contactului direct cu acțiunea: într-o discuție atâta vreme cât schimbăm informații și opinii înțelegând direct sensul acestora, chiar și atunci când opiniile noastre sunt divergente, nu avem de-a face cu discursuri. Validitatea corelațiilor de sens nu este problematizată: vedem lucrurile în același fel. Dacă însă intervin neînțelegeri, argumentăm sau solicităm temeuri, după caz, în vederea clarificării, justificării opiniilor etc., atunci acestea sunt discursuri. Prin discurs opiniile sunt clarificate, interpretările sunt motivate, susținerile sunt transformate în judecăți, explicațiile în explicații teoretice și justificările în justificări teoretice. Pentru Habermas discursul reprezintă forma în care se poate vorbi despre temeuri și, concomitent, o cale și un instrument în vederea obținerii consensului. Habermas consideră că vorbirea cu sens și consensul (*sensul* este totdeauna un *consens* pentru că nu există individual), discursul, nu ar fi posibile fără presupunerea unei situații de vorbire ideală. Fără a presupune o asemenea situație, pretențiile de validitate în legătură cu diferitele opinii n-ar putea fi soluționate prin problematizare, din cauză că orice vorbitor ar avea posibilitatea să instituie arbitrar propriul său acord de sens. Cu alte cuvinte, dacă nu ne-am raporta la o asemenea situație ideală, nici un acord asupra sensurilor nu ar fi posibil, fiecare participant la dezbateri ridicând pretenții de validitate numai în limitele propriului său discurs (ar fi prizonierul propriului său discurs). De aceea, prin discurs se solicită virtualizarea

⁸ Și norme, mai adaugă Habermas, dar, în contextul discuției de aici, a distinge între opinii și norme este lipsit de importanță.

pretențiilor de validitate. Pentru Habermas a virtualiza înseamnă a formula rezerve cu privire la ceea ce ar putea face obiectul unei acțiuni comunicative (lucruri, evenimente, persoane și exprimări) și a discuta în jurul acestora. În extinderea concepției lui Habermas, virtualizarea ar putea însemna formularea de rezerve cu privire la validitatea sensurilor, pe de o parte, iar, pe de altă parte, crearea condițiilor ridicării și recunoașterii unor noi pretenții de validitate. Habermas crede că *aici* ar fi vorba de presupunerea unei situații de vorbire ideală. Argumentul său constă într-o analogie cu intenționalitatea și o teorie consensualistă a adevărului, pe care n-o tratez cu deosebire (dar care este implicită în discuția care urmează). Argumentul intenționalității spune că discursul presupune situația de vorbire ideală cam în felul în care avem așteptări de la comportamentul cuiva numai în măsura în care îl considerăm subiect, capabil de intenționalitate. De exemplu, dacă mă lovesc de cineva pe stradă, îmi cer scuze, aștept scuze la rândul meu (ceea ce nu înseamnă că altcineva n-ar bombăni sau bătăji ceva sau n-ar putea trece mai departe fără să sesizeze), presupun că am de-a face cu un subiect, în schimb, dacă mă lovesc de un copac, sunt mai atent altădată pe unde merg etc. La fel ar sta lucrurile și în cazul discursului: nu ne-am lansa într-un discurs dacă n-am presupune o situație de vorbire ideală care să reprezinte un garant pentru posibilitatea obținerii consensului și, în același timp, o instanță critică pentru consensuri factice false (*aici* situația de vorbire ideală funcționează și ca un criteriu al adevărului). O situație de vorbire ideală Habermas este caracterizată în modul următor:

1. consensul (acordul cu privire la sens) este gândit contrafactual drept acord care se realizează în condiții ideale;
2. comunicarea dintre partenerii de discuție nu este împiedicată de nici un fel de constrângeri interioare sau exterioare;
3. fiecare participant la dezbateră pretențiilor de validitate se bucură de o competență identică și de aceleași șanse de a institui lămuriri, susțineri, explicații și justificări, de a întemeia și de a respinge pretenții de validitate;

4. nici o opinie nu poate rămâne sustrasă tematizării și criticii.⁹

Habermas proiectează prin metafora intenționalității situația de vorbire ideală într-un mod transcendentă, dar o definește procedural. Cum ar veni, dacă m-am lovit de un copac pe stradă și nu-i cer scuze, iar el nu-și cere la rândul său, e pentru că n-aș putea presupune toate aceste caracteristici ale unei situații de vorbire ideală și nu pentru că sistemul meu de așteptări este din capul locului altul, iar copacul e unul obișnuit și nu unul din poveste. Pe de altă parte, deși de natură procedurală situația de vorbire ideală nu include și momentul deciziei asupra consensului (deoarece în situația de vorbire ideală ajungem la consens în mod necesar). De aceea, situația de vorbire ideală Habermas reprezintă în același timp ceva mai mult și ceva mai puțin decât o condiție a discursului și anume un model al dezbaterii critice sau dialectice, meritul ei din acest punct de vedere fiind că înlocuiește confruntarea în realizarea consensului și nicidecum că ar include și condițiile realizării *consensului*, în pofida competențelor cu care sunt înzestrați vorbitorii (competența implică acordul asupra sensului și nu acordarea, atașarea unui sens pentru o expresie; de asemenea, vorbitorii ar putea fi, de pildă, nemandatați, ca în diferite forme de negociere etc.). În situația de vorbire ideală Habermas, dialogul este o formă a civilizației în care vorbitorii își recunosc reciproc aceleași competențe și își conced dreptul la respect și la critică. Premisa de la care pornește Habermas, și anume că putem vorbi despre discurs ca virtualizare a pretențiilor de validitate în legătură cu sensul unor opinii, este suficientă pentru a explica nașterea sensului. Virtualizarea se naște din chiar structura dialogică a discursului și nu din proiecția vorbirii ideale. Pentru a explica modul în care survine sensul dincolo de cadrele acțiunii comunicative nu avem nevoie de un nivel metadiscursiv sau de o regulă pragmatică aptă să-l întemeieze, de vreme ce discursul însuși are o structură dialogică. Altfel nu putem explica de ce într-un discurs se ridică pretenții de validitate și nu se

⁹ J. Habermas (1983), "Preliminarii la o teorie a competenței comunicative" în J. Habermas, *Cunoaștere și acțiune*, București: Ed. Politică, p. 190 - 229

expun opinii într-un mod cât mai persuasiv. Cu alte cuvinte, când într-un discurs se ridică pretenții de validitate, aceasta nu are loc în mod autarhic, ci prin orientare către un alt discurs, "așteptând replica sa", cum spune Bahtin. Discursul nu poate să apară decât prin orientarea sa către un alt discurs, în dialog, prin vorbire anticipată: nimeni nu ridică pretenții de validitate ca să stabilească sensuri individuale (ceea ce nu înseamnă că oamenii nu-și pun întrebări cu privire la propriile opinii). Discursul este un spațiu în care sunt virtualizate și recunoscute pretenții de validitate asupra unei opinii, iar dialogul discursiv servește acestui scop. Pentru a accepta o asemenea caracterizare ar trebui să răspundem la câteva întrebări. Ce fel de dialog se poate desfășura în interiorul unui discurs și, mai ales, cum funcționează acest dialog în medii discursive din care aspectul dialogic pare exclus? Poate fi dialogic discursul corespunzător unei instanțe discursive unice? Cum se desfășoară dialogul într-un discurs spus (scris) de aceeași gură (mână)? Dar în cadrul unor convenții care exclud subiectivitatea și într-un limbaj creat special pentru necesități demonstrative, așa cum sunt discursurile științifice în limbaje formale? Asemenea întrebări ne îndreaptă atenția spre un anume tip de discurs, cel științific.

Discursul științific

Forma cea mai tare de enunțare "monologică" este discursul științific. Discursul științific este impersonal. El se spune pe sine. Într-un discurs științific autorul este o funcție a acestuia: el doar spune discursul, deoarece acesta se dezvoltă pe sine. Fiind o funcție discursivă, autorul este omniprezent și nu se aude altă voce decât aceea a științei care se rostește pe sine. Categoria habermasiană de discurs pare valabilă numai în cazul unor discursuri produse de instanțe individualizate aflate într-o situație oarecare de comunicare, reală, imaginară sau convențională (indivizi, instanțe narrative sau de altă natură - daimonul socratic, de exemplu). În ceea ce privește extinderea categoriei habermasiene de discurs asupra discursului științific putem obiecta și contraobiecta în diferite moduri. Mai întâi,

putem conveni favorabil că orice discurs monologic ar putea fi reformulat ca dialog. Articolele științifice, ca și *Critica rațiunii pure* ar putea fi "dramatizate", cu "personaje" de rigoare (e o problemă de imaginație și de talent literar). Totuși, reprezentarea dominantă în privința discursului științific rămâne impersonalitatea. În discursul științific impersonalitate nu înseamnă caracter a-personal al discursului, ci mai degrabă lipsă de subiectivism, obiectivitate, prezența unei metode etc. Instanța discursivă științifică convențională este impersonală, obiectivă și identică cu sine, pe de o parte; pe de altă parte, în paralel cu sau în locul limbajului natural și a gramaticii acestuia, în știință se utilizează limbaje specializate cu reguli proprii de dezvoltare. În cazul limbajelor specializate ne putem închipui chiar situații în care simbolizarea nu se produce grafic, ci prin mijloace neuzuale: muzicale, olfactive, tactile sau de altă natură (sub orice formă s-ar prezenta ele trebuie să fie într-un fel sau altul perceptibile). Se mai poate vorbi de dialog, de o structură dialogică a discursului, în condițiile dezvoltării discursurilor în asemenea medii semantice? Există o reductibilitate între diferitele tipuri de semne? Este la locul ei ideea dialogului în dezvoltarea unui calcul logic sau matematic?

Câteva răspunsuri preliminare. Mai întâi: sunt nenumărate contextele în care un discurs științific stă într-un dialog "evident" cu alte discursuri. Ideile de comunitate științifică și de cercetare științifică au mult în comun cu ideea mai generală de dialog. Notele de subsol, citările și bibliografia articolelor științifice probează dialogul și prezența discursurilor alternative, a vorbirii anticipate în sensul lui Bahtin. Ceea ce înseamnă că deși putem accepta ideea impersonalității instanței discursive științifice, aceasta nu este în același timp și omniprezentă. Într-un discurs științific perceput drept unitar sunt prezente mai multe voci, mai multe instanțe discursive. Deși impersonală, instanța discursivă științifică nu este una și aceeași peste tot, la fel cum într-un roman autorul lasă și personajelor libertate să se exprime. Nu toate propozițiile dintr-o expunere științifică sunt produsul, sau sunt alocabile, aceleiași instanțe (deși instanțele care intervin sunt convențional impersonale). Mai departe: limbajele formale nu presupun neapărat monologul. Dialogul ca situație practică de vorbire implică posibilitatea locuției alternative, în

timp ce asemenea limbaje de obicei scrise îngreunează o asemenea situație; nu o fac însă imposibilă, de vreme ce diferitele mesaje codificate sunt uzuale. La fel ar putea sta lucrurile și în cazul limbajelor formale, în măsura în care prezența discursurilor alternative transpare într-un mod oarecare. Dialogul nu are nimic de-a face cu suportul sau cadrul comunicării; nu contează limbajul, conținutul, suportul, nu contează cum și nici măcar ce se spune, contează doar prezența unor indici care să facă plauzibilă existența unei situații dialogice, mai multe discursuri și o orientare reciprocă a acestora în funcție de răspunsul anticipat. În Agora sau în Poiana lui Iocan, dialogul apare mai pregnant ca o condiție a discursului. Faptul că în mare parte cultura noastră este una scrisă și că mare parte a producției culturale este individuală și scrisă nu arată că monologul ține de natura discursului, ci numai că anumiți factori culturali, care nu sunt subiect al discuției de aici, fac ca forma expozitivă cea mai des întâlnită să fie monologică. Cum am putea identifica semnele unei situații dialogice într-un discurs scris la persoana I și într-o formă monologică, de exemplu?

Un răspuns ar putea fi formulat pe baza teoriilor retorice în care discursivitatea presupune existența unei relații între o instanță locutivă și un auditoriu. De exemplu, pentru Ch. Perelman, simplul fapt că o idee poate fi împărtășită unui auditoriu implică raționalitatea sa.¹⁰ Aceasta desemnează nu numai o condiție a comunicării, dar indică și instanța ce conferă raționalitate și al cărei răspuns este anticipat în discursul științific: auditoriul universal. Dacă auditoriul particular este caracterizat de subiectivitate și se constituie într-un obiect de persuasiune, auditoriul universal este cel care poate distinge adevărul de fals, întrucât nu admite decât argumente constrângătoare. Auditoriul universal reprezintă astfel sursa adevărului. Ideea auditoriului universal presupune o teorie consensualistă a adevărului și a raționalității (definiția discursului a lui Habermas este consistentă cu o asemenea teorie). Potrivit acestei concepții, adevărul este logos, se manifestă la nivelul limbajului.

¹⁰ Ch. Perelman, cf. C. Plantin (1990), *Essais sur argumentation*, Paris: Kime, p. 16

Admiterea auditoriului universal drept criteriu de raționalitate presupune o înțelegere a sa implicit impersonală. Impersonalitatea și obiectivitatea sunt trăsăturile sale caracteristice. În această concepție, auditoriul universal este simetricul instanței științifice impersonale:

Instanța discursivă științifică

Impersonală
Obiectivă
Omniprezentă

Auditoriul universal

Impersonal
Sursă a adevărului
Universal

Ar fi însă cu siguranță prea mult dacă am considera că un acord rezultat într-un asemenea context simetric ar fi și autosuficient, pentru că atunci am avea de-a face nu cu un acord, ci cu o demonstrație constrângătoare și chiar cu ceva mai mult: întregul discurs științific în istorie ar decurge într-o formă hegeliană demonstrativă ca un fel de supradevenire necesară (aceasta ar fi o explicație și de ce schimbările în știință sunt numite "revoluții"). De aceea, schema de mai sus ar trebui în așa fel modificată încât instanța discursivă științifică să fie descrisă așa cum se și manifestă în fapt, neomniprezent (cel puțin prin faptul că din când în când și știința greșește), ceea ce înseamnă că într-un discurs științific sunt prezente mai multe "voci", ale aceleiași "instanțe", care intervin, cu intermitențe, în dialog:

Instanța discursivă științifică

Impersonală
Obiectivă
Non-omniprezentă

Auditoriul universal

Impersonal
Sursă a adevărului
Universal

Un cadru pentru structura dialogică a discursului

Punctul de vedere consensualist asupra adevărului unui enunț este legat în mod implicit de ideea unui auditoriu universal, adevărul fiind o proprietate a enunțurilor acceptate de auditoriul universal: prin

urmare presupune actul de a considera adevărat enunțul respectiv. La rândul său, conceptul habermasian de discurs se bazează pe schema similară a ridicării pretențiilor de validitate. În legătură cu modul în care se ridică aceste pretenții, Kant scrie:

Considerarea a ceva ca adevărat (Fürwahrhalten) este un fapt al intelectului nostru care se poate baza pe principii obiective, dar care reclamă și cauze subiective în simțirea aceuia care judecă.¹¹

Și:

Adevărul este proprietatea obiectivă a cunoașterii; judecata prin care un lucru este reprezentat ca adevărat - raportul la un intelect și deci la un subiect particular - este, în mod subiectiv, actul de a considera adevărat.¹²

În orice act de a considera adevărat un enunț intervin, potrivit lui Kant, persuasiunea (*Überredung*) - asociată unor criterii de apreciere subiective, și convingerea constrângătoare (*Überzeugung*) - asociată unor criterii cu valoare obiectivă. În discursurile cu instanțe impersonale, criteriile de raționalitate proprii auditoriului impersonal sunt înțelese ca având numai valoare obiectivă. Putem interpreta dialogul între discursuri, inclusiv dialogul dintre discursurile caracterizate printr-o instanță discursivă impersonală și un auditoriu impersonal, prin această prismă kantiană. Ipoteza condiționării dialogice a discursului ar fi corectă dacă din argumentație ar reieși că ridicarea pretențiilor de validitate cu privire la o opinie, adică dezvoltarea unui discurs în sensul lui Habermas, nu este posibilă decât prin dialog. Luând ca reper aprecierile lui Kant, dialogul înțeles astfel ar intra în câmpul persuasiunii, deoarece ceea ce

¹¹ I. Kant (1969), *Critica rațiunii pure*, București: Ed. Științifică, p. 610

¹² I. Kant (1985), *Logica*, București: Ed. Științifică și enciclopedică, p. 210 (trad. de A. Surdu în care *Fürwahrhalten* este echivalat cu *asentiment* din rațiuni expuse de traducător în nota 80, p. 210)

se propune drept criteriu obiectiv reprezintă un principiu de judecată care își are originea numai în subiect, în actul de socoti ceva adevărat numai în mod subiectiv, abia convingerea constrângătoare având valoare obiectivă. Drept urmare cea mai simplă formă de discurs sunt exprimările prin care ținem drept adevărat ceva, de forma "Eu declar că p" , "Eu cred că p" sau prin care reproducem spusele cuiva etc. Schema lui Kant este redată de F. Gil astfel:¹³

	Suficiență obiectivă	Suficiență subiectivă
Opinie (<i>Meinung</i>)	-	-
Credință (<i>Glaube</i>)	-	+
Cunoaștere (<i>Wissen</i>)	+	+

A susține un discurs înseamnă a ridica pretenții de validitate în legătură cu o opinie. În cazul schemei kantiene, pretențiile de validitate sunt cognitive, căci numai singură suficiența obiectivă a probei este cea care distinge opinia de cunoaștere. Spunând "Cred că mâine va ploua" nu exclud nici că propoziția poate fi adevărată, nici că propoziția se poate dovedi falsă (s-ar putea, totuși, pur și simplu să mă trezesc vorbind astfel pentru a contrazice pe cineva). Dacă rămân la această formulare, s-ar părea că socotesc adevărat faptul că mâine va ploua, pentru că altfel ar fi trebui să afirm contrariul: "Cred că mâine nu va ploua" . Pentru a fi siguri de adevărul propoziției "Mâine va ploua" ar trebui să spun: "Cred că mâine va ploua, dacă și numai dacă mâine va ploua" - aplicăm convenția T¹⁴ - ceea ce e absurd.¹⁵ Am putea trage concluzia, de aici, că discursurile sunt un gen de exprimări care își pierd sensul dacă li se aplică convenția T. Acestei observații i s-ar putea reproșa faptul că, aici, convenția T este aplicată numai propoziției socotite adevărată, dar nu și întregii judecăți pentru care propoziția socotită adevărată este predicativă. (T a fost aplicată numai unei părți a propoziției formulate în limbajul referință.) Dar "Cred că mâine va ploua numai dacă cred că mâine va ploua"

¹³ F.Gil (1989), *Preuves*, Paris: Aubier, p. 129

¹⁴ A.Tarski denumeste T (*Truth*) criteriul său de definire a adevărului unui propoziții.

¹⁵ G.E. Moore, cf. F. Jaques, *Op.cit.*, p.254

schimbă conținutul semantic al judecății, referința devenind alta decât faptul ploii sau al lipsei ei mâine, și anume actul de a crede.

De aceea, pe baza schemei kantiene, dar și a experienței obișnuite pe care o avem din diferitele situații în care exprimăm opinii, se poate concluziona că motivele pentru care socotim adevărată o opinie sunt diferite de temeiurile pe care le considerăm suficiente pentru probarea acelei opinii din punct de vedere obiectiv. Altfel spus, în problematizarea pretențiilor de validitate motivele pentru care se ridică aceste pretenții se deosebesc de temeiurile pentru care ele sunt acceptate. De exemplu, socotesc adevărată propoziția "Mâine va ploua" potrivit observației că de fiecare dată când s-a înnorat și am avut concomitent dureri reumatismale, a doua zi a plouat și nu pentru că mâine s-ar putea întâmpla să plouă. Faptul că mâine s-ar putea întâmpla să plouă nu are nici o legătură cu motivele pentru care socotesc adevărat propoziția "Mâine va ploua". Aceasta nu înseamnă că motivele opiniei mele sunt imune la probă, pentru că opinia îmi poate fi contestată de cineva care a observat că a doua zi plouă numai dacă s-a înnorat și vântul suflă din est, sau chiar de mine, dacă îmi dau seama că durerile pe care le resimt nu sunt de natură reumatismală sau dacă aud buletinul meteo și am încredere în prognozele meteorologice pentru că în ultimul timp au fost corecte ș.a.m.d. De asemenea, s-ar putea să fiu nesincer în privința opiniei mele sau să doresc să glumesc pe seama prietenului care pleacă mâine la mare etc.

Lipsa de legătură între motivele pentru care ținem adevărată o opinie și temeiurile considerate suficiente pentru validarea acelei opinii apare mai deschis pentru acele credințe în care actul de a socoti adevărată o opinie nu se referă la valoarea sa obiectivă de cunoaștere. Credințele care privesc valori, de exemplu, "Cred că Hagi este cel mai mare fotbalist român din toate timpurile" exprimă mai clar acest lucru. Cineva poate avea această credință pentru că Hagi este singurul fotbalist român de care a auzit, în timp ce validarea pretențiilor pe care le ridică în legătură cu credința sa cere o discuție aparte. Există, de asemenea, judecăți de credință cum ar fi cazul așa-numitului pariu al lui Pascal, pentru care validitatea judecății "Dumnezeu există" nu influențează în nici un fel socotirea ei astfel -

deoarece credința în Dumnezeu nu privește credința în existența acestuia, ci speranța în salvarea sufletului. În românește există chiar posibilitatea formulării opiniilor de tipul celei a lui Pascal în formele "a crede că" și a "crede în": "Cred în (faptul că) Dumnezeu (există)" înseamnă altceva decât "Cred că Dumnezeu există", ultima propoziție presupunând și eventualitatea inexistenței acestuia, în timp ce pentru prima această eventualitate nu are nici o importanță pentru actul de a crede.¹⁶ Pentru tipuri de exprimări precum "a afirma că", "a crede că", "a crede în" avem posibilitatea să distingem între motivele (certitudinile subiective) și temeiurile (probele obiective) pentru care se ridică pretenții de validitate. Această distincție indică posibilitatea susținerii de către aceeași instanță de discursuri separate, pe de o parte, despre motivele actului de a opina, de a susține o opinie, iar, pe de altă parte, despre temeiurile considerate suficiente pentru probarea acelei opinii, sau, altfel spus, discursuri prin care sunt enunțate pretenții de validitate în legătură cu o opinie și discursuri care solicită recunoașterea acestor pretenții și care trebuie puse în legătură. Susținând validitatea unei opinii, aceeași instanță discursivă este obligată să treacă de la un discurs la celălalt și să-și orienteze reciproc discursurile, utilizându-le anticipativ, ca pe niște replici, în același context. Trecere este dialogică și poate fi reconstruită. În legătură cu exemplele de mai sus, un discurs corespunde părții performative a enunțurilor înțelese ca întreg (este vorba de discursul prin care se ridică pretențiile de validitate), iar al doilea discurs (despre temeiuri) se referă la conținutul propozițional al opiniei exprimate.

¹⁶ S-ar putea face astfel o delimitare între "credințe că" și "credințe în". Într-un anume sens numai acestea din urmă sunt credințe, cel care crede ținând adevărat în orice condiții adevărul credinței sale (A. Flew, R.M. Hare, B. Mitchell (1955), "Theology and Falsification" în A. Flew și A. MacInyre, *New Essays in Philosophical Theology*, p. 96 - 108, cf. F. Jaques, *Op. cit.*, p. 255.)

Structura dialogică

Structura dialogică a discursului nu depinde de mijlocul prin care acesta se realizează. Totuși, stăruind în continuare asupra problemei ridicate, există mijloace de simbolizare care fac imposibil dialogul, sau cel puțin reconstrucția acestuia? Putem reconstrui dialogul în cazul expunerilor în limbaje specializate care, în aparență cel puțin, exclud posibilitatea prezenței mai multor limbaje discursive? Dacă răspundem pozitiv primei întrebări ar însemna că orice formă de concretizare a discursului este importantă pentru gândirea acestuia - de exemplu, înregistrarea lui pe disc ca informație într-un calculator. Dar, în acest caz, pentru cei care ar susține o asemenea dependență, s-ar mai putea vorbi de o "plăcere a textului"? Chiar dacă un împătimit al plăcerilor textuale ar putea răspunde că numai limitele noastre senzoriale ne împiedică să ajungem la noua realitate și că noțiuni hermeneutice specifice, cum sunt raportul dintre parte și întreg, se aplică și unei asemenea realități, ba mai mult, că și în asemenea situații am putea ajunge să avem trăiri similare lecturii obișnuite, tot el ar trebui să admită - de vreme ce acceptarea unor asemenea posibilități depreciază importanța formei de concretizare - că obiectul plăcerii sale nu-l constituie scriitura, ci un anumit mod de utilizare a limbajului și impresiile pe care această utilizare le produce în sensibilitatea sa.

În legătură cu a doua întrebare, prima și poate cea mai importantă obiecție care ar putea fi formulată este că tocmai vorbind de utilizarea limbajului scris, scrisul n-ar avea cum să nu influențeze condițiile discursului (cum își fac loc dialogul, structura dialogică într-un text scris, care exclude nu doar spontaneitatea, ci chiar posibilitatea replicii) și, a doua, că relațiile intertextuale nu privesc textul ca scriere, ci anumite aspecte ale unui discurs conținut de acesta, cărora li se pot aplica diferite tehnici de interpretare. Voi încerca să clarific pe rând aceste obiecții.

Există numeroase situații în care scrierea nu pare să fie "transpunere" a unui discurs (simțim că discursul scris trebuie să răspundă altor cerințe decât discursul vorbit). În orice caz, scrierea științei ca înșiruire de semne nu se deosebește de scrierea unei cereri la primărie. Dincolo de toate aspectele specifice faptului că cultura noastră este una scrisă și că transmiterea și comunicarea într-o

asemenea cultură sunt în esență scripturale iar specializarea limbajului pare îngemănată cu forma monologică, de scriere ne folosim adeseori pentru a domina condiții pragmatice greu evitabile verbal. Scrierea ne apare ca modalitatea cea mai economică și mai potrivită de a urma un fir logic-argumentativ și de prezentare a ideilor, chiar dacă suntem niște buni vorbitori. Aceasta deoarece diferitele circumstanțe proprii verbalității pot fi suspendate sau chiar eliminate prin scriere. În același timp, e greu să ne imaginăm dezvoltarea diferitelor limbaje specializate în afara scrierii - ceea ce nu înseamnă că formalizarea nu poate avea loc în principiu și verbal sau într-o altă formă imaginabilă, ci doar că în scris e mai ușor de realizat sau, în orice caz, ne este mai familiară. Cum s-ar fi dezvoltat matematica și științele într-o cultură ascripturală (există exemplul mayaș)? Totuși, atunci când scrierea nu intervine în mod natural, observăm mai limpede rolul ei în simbolizare sau că există limbaje strâns legate de scriere. De exemplu, simbolizarea matematică sau logică (deși, ne putem imagina și alte baze de simbolizare) cu greu poate fi disociată de grafism. Mai rămân valabile în aceste condiții observațiile de mai sus cu privire la relația discurs - monolog?

Cadrul acestei probleme este logico-semantic. Pentru a putea vorbi de dialog într-un limbaj formalizat ar trebui să avem de-a face cu un anume tip de semantică. F. Jaques presupune o relație semantică cvadruplă și ia drept baza pentru motivarea acesteia chiar argumentele aduse de scrierea ideografică fregeeană :

Relația semantică de bază nu este nici diadică (semnificant-semnificat), ca în tradiția saussuriană, nici triadică asemenea tradiției post-fregeene (semn / sens / referință): sisteme de semne, instanțe enunțiative în relație, sens și referință. Așa cum indică și cuvântul, semnificația este un proces. Codificate virtual în limbaj, semnificațiile necesită să fie actualizate... O analitică deopotrivă completă și originală a semnificării ar trebui să încurajeze lingvistica să explicitizeze raportul său cu exteriorul lingvistici, atât ca subiect, cât și ca subiect al discursului.¹⁷

¹⁷ F. Jaques, *Op. cit.*, p. 153

Scrierea conceptuală (*Begriffsschrift*) pe care a propus-o Frege în lucrarea sa *Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*, apărută la Halle în 1879, reprezintă cazul extrem de încercare de eliminare a circumstanțelor pragmatice ale discursului printr-o formalizare bazată pe grafisme (ideograme)¹⁸. Prin desemnarea directă a obiectelor logice (argumente, predicate, clase, relații), a compoziției, a structurii și a funcției lor referențiale, într-un grafism fregeean conținutul este identic cu expresia lui grafică, notația fiind identică cu judecata și cu dezvoltarea semnelor (calculul logic). Se produce, astfel, o identificare, în limbajul lui Frege, între expresie (*Satz*) și gând (*Gedanke*). Exclud grafismele fregeene circumstanțele pragmatice? Nicidecum, de vreme ce chiar și o scriere ideografică, așa cum o întâlnim la Frege, este introdusă cu ajutorul limbajului natural care joacă rolul unui metalimbaj (există întotdeauna o piatră de la Rosseta). Astfel, suntem îndreptățiți să ne întrebăm dacă pentru un text care le-ar cuprinde pe amândouă nu avem de-a face cu o structură dialogică, (limbaj natural și limbaj formal) caracteristică discursului ca întreg? Răspunzând afirmativ, suntem la fel de îndreptățiți să ne întrebăm dacă după introducerea simbolurilor pentru o scriere în care acestea sunt folosite în mod exclusiv și automat mai sunt prezente circumstanțe interpretabile pragmatic ca instanțe discursive? Căci fără asemenea circumstanțe pragmatice nu am putea vorbi nici de instanțe dar nici de dialog discursiv. Din punct de vedere semantic asemenea circumstanțe ar trebui legate de semnele grafice. Astfel, scrierea ideografică fregeeană presupune notarea conținutului judecății "___A" iar asertarea acesteia "___ A", unde A reprezintă gândul conținut de judecată, iar judecata *recunoașterea* adevărului gândului. Ea se constituie prin aplicarea notației de *asertare*, în final, la conținutul judecat. Asertarea nu este însă o operație logică, ci un act al subiectului care judecă cu privire la conținutul judecății. Ea nu rezultă din dezvoltarea mecanică a calculului. Faptul că semnul

¹⁸ Cf. S.Vieru (2000), *Încercări de logică*, vol. II: *Studii fregeene*, București: Paideia, p.8

asertării este întotdeauna același nu înseamnă că asertarea se produce întotdeauna în aceleași condiții, chiar dacă punem condiția ca orice judecată asertată să fie și adevărată în conformitate cu setul de reguli proprii limbajului formal fregeean. În acest fel, asertarea logică indică existența unei instanțe discursive, a unui context discursiv, de vreme ce în limbajul propus de Frege asertarea presupune recunoașterea pretențiilor de validitate (adevărul) propoziției asertate. Faptul că pentru asemenea notație de tip fregeean pot fi presupuse condiții pragmatice atunci când o utilizăm în mod neintrodus și exclusiv arată că și într-un limbaj ideografic discursul prezintă nu numai caracteristica orientării către propriul său conținut, ci și pe aceea a orientării externe, în sensul lui Bahtin. Altfel, scrierea fregeeană ar reprezenta un fel scriere autointerpretativă.

Discurs și contexte indirecte

Cadrelor semantice propuse de F. Jaques pentru dialogism, care presupun semnificația ca pe un proces, creează posibilitatea figurării unei instanțe cu rol de interpretant chiar pentru o scriere de tip fregeean. O obiecție împotriva acestei opinii ar putea fi că într-o scriere fregeeană, din cauza naturii directe a judecății, care înseamnă deja recunoașterea adevărului ei, distincția referința internă - referința externă implicită în dialog n-ar mai fi valabilă (deoarece referința tuturor propozițiilor adevărate este adevărul, iar a celor false, în mod similar, falsul - ceea ce n-ar asigura singularitatea sau condițiile individualizării enunțurilor).¹⁹ Totuși, Frege spune discutând problema identității că enunțuri precum "Propoziția Z are valoare de adevăr" sau "X crede că" nu se limitează la referința sau la valoarea lor logică. El afirmă că pentru asemenea enunțuri teoretice trebuie să acceptăm că atât ele în întregime cât și părțile lor componente au câte

¹⁹ Pentru o poziție pro Frege, vezi W.v.O. Quine (1977), *The Ways of Paradox and Other Essays*, Harvard: Harvard University Press, pp. 163 - 164 și contra Frege, D. Davidson (1984), *Inquires into Truth and Interpretation*, Oxford: Calderon Press, pp. 19 - 20

un sens, ceea ce echivalează, pe de o parte, cu recunoașterea existenței referinței interne și externe a discursului și, pe de altă parte, cu identificarea discursului cu ridicarea unor pretenții de validitate asupra sensului unei opinii. Universul de discurs, în termenii săi. Sensul reprezintă la Frege o judecată, un "gând" obiectiv, etern, corespunzând valorii de adevăr a unei expresii și care explică ceea ce înțelege o persoană atunci când pătrunde enunțul. Din faptul că anumiți termeni nu sunt substituibili *salva veritate* în contexte indirecte, Frege conchide că având un sens în aceste contexte, ar trebui să aibă și în afara lor. El nu ne spune însă dacă "p", dintr-un enunț "X crede că p" are același sens în acest context și în afara lui. Dar adaugă că atunci când un enunț aflat într-un context extensional desemnează valoarea sa logică (adevăratul sau falsul) și exprimă sensul său, același enunț într-un context indirect desemnează atât sensul pe care el îl are într-un context extensional obișnuit (sensul său obișnuit) cât și un alt sens, sensul său indirect sau "oblic", propriu acestui context indirect. Astfel enunțul "București este capitala României" are un sens și o referință obișnuite, pe când enunțul <Ion crede că "București este capitala României"> are ca referință sensul său obișnuit și ca sens sensul său indirect. Dacă vom vedea în contextul indirect nu o atitudine propozițională, care exprimă o atitudine a celui care judecă față de opinia judecată, ci pur și simplu contextul discursiv în care se poate încadra o opinie, "X crede că", "X declară că" ș.a.m.d. stau nu pentru actul de a judeca, de a crede, ci pentru discursul prin care se exprimă această credință. Ceea ce înseamnă că dialogul între două discursuri, prin faptul că sensul opiniei devine o referință pentru discursul contextualizat, este prezent în realizarea sensului, condiționându-l. În termenii lui Frege, enunțul încadrat joacă pe de o parte un rol sintactic, și aici intervin problemele substituției, dar și un rol semantic, căci sensul este luat drept referință, ceea ce rezolvă pe alt plan aparenta inconsistență sintactică. Dialogul devine posibil în jocul contextelor indirecte. Într-o perspectivă dialogică asupra discursului, contextul propozițional este un context discursiv prin care se ridică pretenții de validitate cu privire la sensul direct al discursului contextualizat: expresia "X spune că" stă pentru discursul privind motivele (suficiența subiectivă) validității sensului

expresiei "București este capitala României", - sensul indirect pentru Frege, în timp de "București este capitala României" privește suficiența obiectivă, sensul direct în terminologia lui Frege.

Recapitulare fregeeană

Semantica fregeeană are trei termeni: expresie, referință și sens. Posibilitatea relației este condiționată de existența sensului, deoarece schema se aplică doar expresiilor cu sens într-un limbaj. În același timp, între cei trei termeni ai relației numai expresia nu este condiționată contextual, sensul și semnificația depinzând de contextul în care apar. Astfel, referința sau semnificația unei expresii este obiectul căreia i se aplică aceasta. Sensul unui expresii este modul în care este înfățișată referința. "București", "capitala României" și "Micul Paris" au aceeași referință, orașul actual București, sensul lor este diferit, deoarece ne înfățișează același obiect în moduri diferite. Din faptul că referința și sensul sunt contextualizate la rândul lor se nasc câteva rânduri de întrebări și de dificultăți (aportul cognitiv al unor enunțuri cu aceeași referință, chestiunea identității, a sensului expresiilor, a relației dintre referință și sens etc.).²⁰ Atât sensul cât și referința unei expresii depind de contextul în care acestea se înscriu. Cu toate acestea, Frege consideră că referința unei expresii complexe nu se schimbă dacă constituenții săi având aceeași referință sunt intersubstituiți, deoarece referința propozițiilor adevărate este adevărul, iar al celor false falsul. Cum funcționează aceste referințe, și mai ales falsul, dacă vom lua în considerație contextul discursiv? În ce mod există falsul în mod obiectiv, chiar în accepțiunea lui Frege, de certificare a existenței prin rațiune (ceea ce este sesizat rațional are obiectivitate):

²⁰ De exemplu, e de presupus că București, Capitala României și Micul Paris au aceeași referință. Dacă spunem " București e București" aportul informativ este nul, în schimb dacă vom spune " Bucureștiul e Micul Paris", avem de-a face cu o informație etc, ceea ce complică argumentația fregeeană.

*Eu fac o distincție între ceea ce este obiectiv și ceea ce este imediat sesizabil, spațial sau real. Axa Pământului și centrul de gravitate al sistemului solar sunt obiective, dar eu n-aș spune că sunt reale, așa cum real este Pământul însuși. Vorbim adesea despre ecuator ca despre o linie imaginară. Ar fi însă fals să spunem că este o linie imaginată. Ea nu provine din gândire, nu este rezultatul unui proces psihic, gândirea nu face decât să recunoască, să o conceapă ca atare. Dacă a fi recunoscut înseamnă a fi generat, atunci nu am putea afirma nimic pozitiv despre ecuator, referitor la perioada care precede această pretinsă geneză.*²¹

Pentru a avea un răspuns la asemenea întrebări, dar și pentru a rezolva în mod economic întrebările cu privire la lucruri care nu sunt certificate obiectiv decât pe calea rațiunii, Frege distinge între concepte, obiecte și funcții, și conferă, deopotrivă, conceptelor și propozițiilor funcție predicativă. Aceasta nu rezolvă însă problema *recunoașterii* evidențiată în textul de mai sus. Dacă triada semantică fregeeană se aplică numai expresiilor bine formate ale unui limbaj, înseamnă că ea servește în primul rând la recunoașterea, dintre toate expresiile acestuia, pe acelea cu sens. Universul de discurs, de care vorbește Frege, nu se poate constitui în afara acestei recunoașteri prealabile. Ceea ce înseamnă, din nou, că orice asertare stă, poate fi privită ca un context indirect pentru sensul expresiei asertate, Suntem siliți să presupunem astfel, deoarece *recunoașterea*, ca și *generarea*, în concepția lui Frege, nu sunt operații logice și nici nu intră în vreuna dintre categoriile logicii sale, nu sunt adică obiect, concept sau funcție, dar trebuie presupuse pentru a admite semantica sa. Frege sugerează că într-un limbaj ideografic referința, adevărul sau falsul, e sesizabilă la prima vedere. Recunoașterea nu reiese însă din dezvoltarea calculului sau din stringențele scrierii, nu face parte într-un cuvânt din universul de discurs al expresiei asertate, ci din universul de discurs al contextului discursiv. Suntem îndreptățiți să presupunem că *recunoașterea* aparține unui alt univers de discurs? E

²¹ Frege, *Op. cit.*, pp. 71 - 72

o presuposiție mai îndreptățită decât ideea că reprezintă pur și simplu un act al subiectului care gândește, în sensul că recunoașterea trebuie alocată la rândul ei unui discurs, și anume discursului despre suficiențele subiective în legătură cu problematizarea validității sensului unui enunț – potrivit schemei kantiene. Un grafism fregean este cea mai economică reprezentare a schemei kantiene suficiență subiectivă - suficiență obiectivă, fiind purtătorul a două universuri de discurs, de vreme ce este propriul său interpretant (în orice grafism fregean semnul asertării îl reprezintă pe interpretant și interpretarea sa). Căci, dacă nu am accepta relația dintre suficiențele subiective și cele obiective, recunoașterea adevărului unei expresii nu ar mai fi posibilă, iar asertarea ar trebui să reiasă dintr-o relație logică sau din dezvoltarea mecanică a calcului. Și atunci, în acest ultim caz, în orice grafism fregean, expresia ar trebui să se confunde cu sensul. Nu ne rămâne decât să considerăm asertarea ca aparținând unui alt univers de discurs în care se ridică pretenții de validitate cu privire la sensul propoziției, considerat prin asertare drept referință.²²

²² Frege însuși presupune acest lucru. Astfel, cum am mai arătat, într-un context indirect, principiul intersubstituibilității termenilor coreferențiali nu este respectat (acest principiu spune că termenii coreferențiali sunt înțesanjabili, fără ca valoarea de adevăr a unei propoziții să se schimbe). De exemplu, dacă în propoziția "X a spus că Bucureștiul este fermecător", înlocuim termenul "București" cu "Micul Paris", că având aceeași referință, "X a spus că Micul Paris este fermecător", atunci propoziția este falsă. Rezolvarea lui Frege ar fi că București și Micul Paris se referă la un oraș prezent, pe când expresia "este fermecător" se referă la mulțimea tuturor lucrurilor cu acest atribut. Atunci când cuvintele apar după expresia "a spus că" acestea trimit la ceea ce spun. Frege denumeste sensul unui expresii *gând*. Prin urmare, când X spune că Bucureștiul este fermecător înseamnă că se situează într-o anumită relație cu *gândul* "Bucureștiul este fermecător". Sensul prezintă referința într-un anumit mod. Întrucât sensurile și gândurile sunt obiecte abstracte, faptul că cineva, "X", "a spus că Bucureștiul e fermecător" sau "X a spus că Micul Paris e fermecător" sunt unul și același lucru. Interpretarea lui Frege a fost combătută de D. Davidson (1968/69), "On Saying That", *Synthese*, 19, pp. 130-146. În concepția acestuia în enunțul "X a spus că Bucureștiul e fermecător", apar două unități distincte: (a) "X a spus că (aceasta)" (În engleză, "that" din expresia "X said that..." poate fi înțeles ca pronume

Provizoratul discursiv

Lumea rămâne oricum și oricând la dispoziția unei cunoașteri mai bune, iar discursul, la îndemâna unei cunoașteri mai inteligente.

demonstrativ sau conjuncție.) și (b) "Bucureștiul e fermecător." Între (a) și (b) nu există nici un fel de relație logică. Din faptul că (b) urmează lui (a) nu rezultă nimic pentru faptul că (c) urmează lui (a), precum în enunțul "X a spus că Micul Paris este fermecător". Pentru faptul că (b) sau (c) urmează lui (a) nu putem spune decât că există anumite afirmații ale lui X care corespund lui (b) sau (c). În aceste relații conjuncția "că" este ambivalentă: pe de o parte ea reprezintă obiectul direct pentru verbul "spune" din (a), iar pe de altă parte ține locul afirmației (b) sau (c). Prin urmare, nu există nici o schimbare a referinței cuvintelor în cadrul semantic reieșit din consecuția lui (b) și (c) față de (a). Pe de altă parte, dacă cineva reproduce cuvintele altcuiva, el produce un enunț cu un conținut nou. Acest enunț nou reproduce conținutul unui act de vorbire și servește drept model pentru actul de la care se pleacă. Davidson consideră afirmațiile (b) și (c) reproductiv. Ceea ce înseamnă că cel care efectuează citarea utilizează propriile sale afirmații pentru a reda afirmațiile celui citat. Acest gen de afirmații sunt denumite de Davidson afirmații similare. Două afirmații sunt similare atunci când conținutul lor este același. Astfel afirmația "X spune că Bucureștiul este fermecător" și "X spune că Micul Paris este fermecător" au aceeași formă, dar conjuncția "că" are referenți diferiți, (b) și (c). Deci n-am avea în nici un fel de-a face cu încălcarea regulii intersubstituției termenilor coreferenți. Rezolvarea lui Davidson a fost însă contrazisă de J. Higginbotham (1986), "Linguistic Theory and Davidson's Program in Semantics" în E. LePore (ed.), *Truth and Interpretation: Perspectives on the Philosophy of Donald Davidson*, New York: Blackwell, pp. 29 – 48, prin următorul exemplu:

Orice copil spune acesta (că). Mama sa este cea mai frumoasă.

Orice copil spune aceasta (că). Mama sa este cea mai frumoasă.

Primul enunț este destul de ambiguu, deoarece este adevărat dacă și numai fiecare copil îi spune unei persoane oarecare într-un anumit context că mama acelei persoane este afectuoasă, dar, de asemenea și dacă fiecare copil afirmă că mama sa este afectuoasă. Distincția davidsoniană a celor două enunțuri este valabilă însă numai pentru prima lectură.

Cea mai completă și inteligentă cunoaștere ar trebui să epuizeze deopotrivă lumea și discursul, descompunându-le pe fiecare în părțile cele mai simple și studiindu-le caracteristicile, ca mai apoi să le remonteze având deopotrivă imaginea completă a fiecărui întreg, a fundamentelor și a perfecteii lor echivalențe. Pentru ca toate aceste afirmații să însemne ceva, cunoașterea trebuie înțeleasă ca desemnare sau descoperire (eventual de obiecte), iar discursul ca reprezentare sau vorbire (eventual despre obiecte). Într-o asemenea cunoaștere limbajul se află într-un raport de neschimbat cu lumea, căci întregul eșafodaj pe care se bazează sistemul de semene prin care desemnăm și reprezentăm s-ar prăbuși dacă în acest raport ar apărea breșe pragmatice sau logico-semantic. Ideea că între expresie, sens și referință n-ar exista o închidere strictă este de neacceptat. Semnul și sensul pot fi acceptate ca arbitrar, dar regulile după care funcționează sunt stricte. O dată separate și îmbinate, fie inductiv, fie deductiv, părțile trebuie să dea seama de întreg, iar întregul de parte. Formula carteziană a acestui tip de închidere constituie un exemplu :

... [T]oate cele ce pătrund în gândirea omului își urmează una alteia în același fel. Cu condiția să nu admitem printre ele ceva fals ca fiind adevărat, și să menținem mereu ordinea prin care unele pot fi deduse prin altele; nu există nici un lucru atât de îndepărtat încât să nu ajungem în cele din urmă la el, și nici atât de ascuns încât să nu-l descoperim. Nici nu mi-a fost greu să descopăr cu cercetarea cărora ar trebui să încep: știam că dintre toate lucrurile trebuiau cercetate întâi cele mai simple și mai ușor de cunoscut... Pentru aceasta însă nu am încercat să învăț dintr-o dată toate acele științe particulare numite de obicei matematici; dar, deoarece observasem că acelea, deși sunt legate de obiecte diverse, totuși converg prin aceea că examinează numai anumite raporturi și relații ce se dovedesc în ele, m-am gândit că ar trebui să cercetez numai acele proporții care sunt însușite la modul cel mai general și sunt privite doar în raport cu acele obiective cu al căror ajutor mi s-ar oferi o cunoaștere mai ușoară; și, fără ca astfel să le înlănțui de acestea să pot să le aplic tuturor celorlalte cu care

se potrivesc. Apoi pentru că am observat în legătură cu ceea ce trebuie cunoscut în jurul acestor proporții, că ele trebuie cercetate uneori separat, una câte una, iar alteori trebuie cuprinse și reținute în memorie mai multe deodată, am socotit că va fi cel mai bine dacă le voi separa între linii drepte doar pe acelea care ar trebui cercetate fiecare în parte; aceasta pentru că nu-mi venea nimic mai simplu și nici ceva mai distinct care să i se poată arăta când fanteziei, când simțurilor mele; ca și când s-ar fi putut face să însemn cu aceleași caractere sau semne oarecare cât mai scurte, ori de câte ori trebuiau reținute atât de multe, și în același timp să fie cuprinse și mai multe.²³

Într-o asemenea ordine a vedea care sunt proprietățile părților și a extrage din acestea proprietățile întregului reprezintă un continuum, iar reușita procesului e asigurată numai în măsura în care construcția este reductibilă la părțile sale și consecventă logic. Cât de inexpugnabilă este însă această închidere dacă permite existența sensurilor indirecte? După Habermas, blocarea funcției ilocutive a limbajului în acțiunea comunicativă solicită discursul. La fel, într-un calcul logic, acceptarea posibilității sensului indirect al expresiilor reprezintă un fel de *clínamen* care, deși complică economia inițială, declanșează mecanismul prin care universurile de discurs se adaugă și se încapsulează. Aceste blocaje arată discontinuitatea de fond și imposibilitatea unei închideri lume-discurs rezultată din consecvență pragmatică, semantică sau logică într-un limbaj. Închiderile care intervin pe parcurs, fie că e vorba de discursul unei epoci, de un text oarecare sau de teorii din științele exacte ale naturii, sunt provizorii și au un caracter instrumental, servind susținerea pretențiilor de validitate a sensurilor în anumite configurații. Oricât de înrădăcinat, sensul oricărei expresii este provizoriu. Discursul mizează pe acest provizorat. Orice lucru poate fi numit, gândit, interpretat altfel, orice opinie poate fi alăturată de oricare alta și orice opinie poate fi

²³ R. Descartes (1995), *Expunere despre metodă*, București: Paideia, pp. 28-29

susținută și respinsă prin oricare alta (creativitate). Astfel, discursul este o exprimare prin care sensuri valide (provizoriu) în acțiunea comunicativă sau în contexte directe sunt virtualizate și rediscutate. Ridicarea de pretenții de validitate cu privire la sensuri pare a avea în fundal un fel de virtualizare generală. Totuși, virtualizarea discursivă trebuie distinsă de îndoiala metodică, de reducția fenomenologică sau de exprimarea de rezerve. Deși prin discurs se solicită de principiu suspendarea sensurilor, virtualizarea este selectivă. Nu toate sensurile sunt suspendate și nu toate regulile sunt încălcate. Unele sensuri sunt puse sub semnul întrebării, altele rămân tacite etc. iar altele sunt utilizate ca bază pentru ridicarea propriilor pretenții de validitate. "Selectarea" are loc prin dialog și solicită la rândul ei dialogul. În consecință, virtualizarea se produce în dialogul discursiv și nu-l precede, cum ar cere îndoiala carteziană sau reducția fenomenologică. Local, am putem arăta, de exemplu, din ce cauză cineva contestă sau aprobă o anumită opinie, de ce în cultura română discursul criticii culturii este preponderent, de ce într-un text sau într-o cultură ideile au avut o anumită succesiune etc., de ce diferite sensuri sunt respinse, susținute și de ce într-un alt loc discursurile intră în dialog (își dau replica) în forme anume. Întrucât exclude o formulă anume, voi exemplifica provizoriul închiderii discursive prin trei metafore care-l surprind din perspective diferite.

Prima este discursul peste gardul grădinii (Habermas), în care ridicarea pretențiilor de validitate are loc la graniță cu acțiunea comunicativă, multe dintre sensurile prezente în acțiunea comunicativă fiind considerate valide și discursiv. Mircea Flonta consideră discursul peste gardul grădinii exemplar pentru consensul științific:

Să considerăm o...modalitate de realizare a consensului rațional, una folosită în mod curent...Ea este bine ilustrată de procedura pe care o alege de obicei un practician, bunăoară un meseriaș, un tehnician sau un medic, atunci când prezintă soluția pe care o prezintă pentru o problemă în fața unei comisii de experți. Ne putem imagina următoarea soluție sugestivă: omul nostru va vorbi destul de puțin și nu prea

coerent; exprimările sale nu se vor distinge prin precizie, dimpotrivă limbajul utilizat va fi unul accentuat metaforic; ideile nu vor fi bine explicate, unele fraze nu vor fi duse până la capăt; el va gesticula din abundență și va mima prin gesturi și expresii onomatopeice diferite acțiuni. Un observator bine familiarizat cu arta vorbirii argumentate, bunăoară un filosof sau un jurist, va putea remarca că practicianul nostru nostru ipotetic solicită în demersurile sale de comunicare în primul rând funcția de semnalizare a limbajului. Dimpotrivă funcțiile descriptive și argumentative vor fi puțin și adesea prost folosite. Pledoaria practicianului își poate atinge țelul deși se situează în multe privințe la antipodul unor argumentări ireproșabile din punct de vedere logic. Succesul argumentării nu depinde în mod evident de acuratețea ei logică, ci de capacitatea ei de a pune în valoare un consens la un nivel mai profund, consens ce se întemeiază pe un corp cuprinzător de activități și experiențe comune.²⁴

A doua metaforă este discursul geamantan:

O formă a activității filosofice se aseamănă cu împingerea și îngrădădirea lucrurilor pentru a se potrivi într-un perimetru fixat de o anumită formă. Toate lucrurile se găsesc aici la îndemână și ele trebuie potrivite. Împingi și înghesui materialul într-o suprafață rigidă așezându-l pe o latură și iese în afară pe altă latură. Apeși pe locul în care s-a produs denivelarea și produci alta într-un alt loc. Așadar împingi și înghesui și tai marginile și colțurile lucrurilor în așa fel încât să se potrivească și apeși până în cele din urmă totul se așează mai mult sau mai puțin instabil; ceea ce nu se potrivește este așezat departe ca să nu se mai vadă. (Desigur nu totul este atât de brut. Mai există și persuasiunea și linguşirea. Și limba în care scrii.) Repede găsești un unghi din care totul se

²⁴ M. Flonta (1994), *Imagini ale științei*, București: Editura Academiei Române, pp. 185 - 186

potrivește și faci un instantaneu; mărești viteza de expunere, înainte ca ceva să iasă din cadru într-un mod prea evident. Apoi revii în camera obscură pentru a retușa crăpăturile, tăieturile și rupturile în țesătura cadrului. Rămâne ca fotografia să fie luată drept o reprezentare a lucrurilor așa cum sunt ele și să se observe cum în nici o altă formă lucrurile nu se potrivesc așa cum trebuie.”²⁵

Nozick sugerează că numai activitatea filosofică s-ar caracteriza printr-o asemenea iluzionare sau autoiluzionare a adunării de lucruri compatibile și incompatibile, având ambiția de a le ține împreună, deși în mod vădit, unul câte unul, curg din vârful grămezii pe măsură ce sunt ridicate până acolo.²⁶ Îmbinarea unor elemente dispartate nu reprezintă, totuși, un fel de trișare, cum pare să admită Nozick, decât numai dacă acceptăm că și atunci când ne punem hainele în rucsac sau în geamantan și constatăm că nu prea încap sau când înghesuim într-o pungă cumpărăturile, căutând o soluție de a le ține împreună, trișăm. În poșetele doamnelor, într-un geamantan devenit neîncăpător, precum și într-un discurs există o anume dispunere, chiar dacă provizorie, care ține lucrurile laolaltă și le face să încapă în același loc.

O a treia metaforă ar putea fi discursul caleidoscop. Discursul

²⁵ R. Nozick (1997), *Anarhie, stat și utopie*, București: Humanitas, p.39

²⁶ O metaforă similară ar fi o cunoscută scenă de film cu Stan și Bran, în care amândoi încearcă să intre deodată în aceeași cușetă a unui vagon de dormit, să se dezbrace și să-și găsească poziția cea mai potrivită peste noapte. Cu un discurs nu se procedează altfel atunci când îl producem sau când îl reconstruim (ceea ce ar putea fi cam același lucru), uneori din fragmente dispartate, cum se întâmplă când vorbim de discursul literar, de cel filosofic etc., sau când discutăm de literatura secolului al XVIII-lea, sau când pur și simplu scriem sau vorbim despre ceva. Dacă ideile sau cuvintele ar fi un fel de forme vii, cu mâini și picioare și ar purta îmbrăcămintea obișnuită a bărbaților din perioada interbelică, așa cum se vede în imaginile cu Stan și Bran, atunci pe această pagină, vizualizându-le, s-ar putea să percepem ceva destul de asemănător cu înnodarea membrelor și a hainelor, a pozițiilor caraghioase sau incomode ale actorilor din scena de film evocată.

poate fi asemănat jucăriei copiilor, în care rotirea pietrelor colorate într-un cilindru creează noi și noi forme și structuri cu o geometrie imprevizibilă și în culori mereu surprinzătoare. Foucault descrie caracterul caleidoscopic al discursului în modul următor:

...Dacă discursurile trebuie tratate ca ansambluri de evenimente discursive, atunci ce statut trebuie să acordăm acestei noțiuni de eveniment pe care filosofii au luat-o în considerare atât de rar? Bineînțeles evenimentul nu este nici substanță, nici accident, nici calitate, nici proces; evenimentul nu este de ordinul corp oralității. Și totuși, nu e deloc imaterial; întotdeauna el are un efect (sau este un efect) la nivelul materialității; evenimentul își găsește locul și constă în relația, coexistența, dispersia, amestecul, acumularea, selecția unor elemente materiale; nu este nicidecum actul sau proprietatea unui corp; el se produce într-o dispersie materială ca un efect al ei. Pe de altă parte, dacă elementele discursive trebuie încadrate în serii omogene dar discontinue unele în raport cu altele, ce statut ar trebui să-i acordăm acestei discontinuități? Bineînțeles că nu e vorba de succesiunea unor momente de timp, nici de pluralitatea diversilor subiecți gânditori; este vorba despre cezurile care scindează momentul și dispersează subiectul într-o pluralitate de poziții și de funcții posibile. O astfel de discontinuitate afectează și invalidează cele mai mici unități tradițional recunoscute sau unitățile cele mai dificil de contestat: momentul temporal și subiectul. Iar dedesubtul lor și independent de ele, trebuie să concepem între aceste serii discontinue relații care nu sunt de ordinul succesiuni (sau al simultaneității) într-o conștiință (sau în mai multe); trebuie să elaborăm, în afara oricărei filosofii a subiectului și a timpului o teorie a sistematicii discontinue. În sfârșit, chiar dacă e adevărat că fiecare dintre aceste serii discursive și discontinue au - între anumite limite - o regularitate proprie, totuși, fără îndoială că nu mai e posibil să stabilim între elementele care le constituie nici o legătură de necesitate mecanică sau de

*necesitate ideală. Trebuie să acceptăm introducerea aleatorului ca o categorie a producerii evenimentelor...*²⁷

Putem găsi o bază pentru provizoriul discursului? În metaforele lui Flonta și Nozick, secretul coerenței discursive stă în arta, abilitatea producătorului, în improvizare și în prezentarea provizoriului drept coerență și ordine strictă. Imaginea lui Foucault este cumva mai dinamică și sugerează chiar o modalitate de producere:

*...[C]hiar și cel mai mic decalaj pe care ne propunem să-l introducem în istoria ideilor (și care constă în a considera discursurile - nu reprezentările care pot exista în spatele discursurilor - drept serii regulate și distincte de evenimente) în orice astfel de decalaj va trebui să recunoaștem ceva de felul unui mic (și, poate, odios) mecanism care ne permite să punem hazardul, discontinuu și materialitatea chiar la baza gândirii.*²⁸

Acest mic (și, poate, odios) mecanism care explică hazardul și discontinuitate discursivă este dialogul.

Câteva precizări finale

Una dintre sugestiile destul de curioase care s-ar putea desprinde din cele afirmate până acum este aceea că enunțarea, rostirea este dialogică (asemenea înțelegerii), că într-un fel sau altul într-un discurs sunt prezente cel puțin două instanțe enunțiative. Mai departe, aceasta ar putea însemna că într-un dialog real există mai multe instanțe enunțiative decât persoanele în cauză (vorbit doi și ne auzim patru sau cinci sau zece). Neînțelegerea ar putea fi anulată printr-o distincție între instanțe enunțiative și discursive,

²⁷ M. Foucault (1998), *Ordinea discursului. Un discurs despre discurs*, București: Eurosong & Book, p. 46 - 48

²⁸ Ibidem, p. 48

ultimele fiind elemente, caracteristici care transpar în reconstrucția discursului (cam în același fel cum frumusețea poeziilor eminesciene aparține textului poetic sau este presupusă în opinia noastră despre ele, și nu reprezintă o caracteristică a lui Mihai Eminescu). În orice caz, faptul că într-un asemenea dialog s-ar manifesta mai mult instanțe discursive este numai aparent contradictoriu, întrucât dialogul discursiv trebuie înțeles ca o structură în discurs și nu ca vorbire vie. Pronunțând un discurs noi vorbim ca într-un dialog, utilizând mai multe discursuri și anticipând replica (chiar între discursurile proprii). Existența replicii este oarecum mai ușor de acceptat. În virtualizarea sensurilor prevedem posibile obiecții care decurg din virtualizare, pe de o parte, iar, pe de alt parte, ceea ce ar putea fi obiectat în legătură cu pretențiile de validitate ridicate de noi. Pe această cale însă discuția devine una metodologică, iar întrebarea care se pune este dacă nu cumva ar trebui să vorbim mai degrabă de o metodă a dialogului decât de o structură dialogică a discursului. Tema anunțată n-a fost însă metodologică. Dimpotrivă, problema prezentă tot timpul în fundal a fost spontaneitatea, producerea noutății în vorbire. În acest caz, structura dialogică a discursului trebuie înțeleasă ca un element al unei posibile explicații a survenirii noilor sensuri în vorbire sau într-o limbă. Apariția sensurilor noi e posibilă doar prin discurs. Dar și aici ar putea fi identificată un fel de contradicție: orientarea vorbirii în funcție de replică, vorbirea anticipată, ar putea fi o explicație tocmai pentru lipsa de noutate în vorbire. Anticiparea, orientarea în funcție de replică ar putea fi interpretată ca un fel de predicție, de pre-zicere a celor ce urmează într-o enunțare. Cred însă că o asemenea interpretare depinde de modul în care ne reprezentăm spontaneitatea vorbirii (nu avem un concept propriu-zis al acesteia). Dacă înțelegem noutatea ca survenind de undeva „din trecut” sau, în această propoziție, de pildă, generată „de la stânga”, atunci anticiparea ar putea fi privită ca un fel de predicție, o anticipare a ceea ce va urma într-un fel sau altul, o preîntâmpinare. Însă, dacă vom înțelege vorbirea venind de undeva „din viitor” sau, în această propoziție, venind „de la dreapta” (citim cuvintele mișcând privirea

la dreapta noastră, nu la stânga noastră), spontaneitatea rostirii, enunțarea se manifestă aici și acum, dar o descoperim înaintând, așa cum orice eveniment al vieții noastre survine la granița dintre viitor și prezent. În această reprezentare, vorbirea anticipată ar putea fi asemănată cu modul în care imaginile de pe o peliculă cinematografică se mișcă pe ecran la un moment dat în prezent, ceea ce se întâmplă pare a avea o curgere din trecut, dar adevărata mișcare provine de undeva „din viitor”. Totuși, o argumentare mai bine formulată a anticipării în vorbire ar cere o discuție mai amănunțită.

NIVELURI DE ORGANIZARE ȘI ENTITĂȚI COMPLEXE: GENURILE NATURALE ȘI PROBLEMA SPECIILOR

Laurențiu Staicu

Statutul teoretic al biologiei contemporane

Progresele spectaculoase înregistrate în ultima jumătate a secolului trecut în cercetarea aplicată și în teoretizarea specifică biologiei au dus la ridicarea a numeroase întrebări referitoare la statutul teoretic al biologiei ca știință și la relațiile acesteia cu celelalte științe fundamentale, în primul rând cu fizica și chimia. Răspunsurile la aceste întrebări erau așteptate în egală măsură de practicienii din cercetarea fundamentală și de filosofi, dat fiind că apariția teoriei evoluției a lui Darwin a determinat o schimbare radicală de paradigmă în perspectivele filosofice tradiționale: "teoria selecției naturale a pus capăt la numeroase speculații referitoare la scopul universului, sensul vieții, natura omului și temeiurile obiective ale moralității."¹ S-ar putea spune că teoria selecției naturale a lui Darwin a reprezentat pentru metafizica tradițională o răscruce la fel de importantă precum cea a apariției *Criticii rațiunii pure*: o seamă de răspunsuri acceptate de multă vreme ca adevăruri indubitabile au fost puse dintr-o dată sub semnul îndoielii. În aceste condiții, era firesc ca știința constituită în urma acestei revoluții să fie supusă unei atenții sporite, cu atât

¹ Alexander Rosenberg, *The Structure of Biological Science*, Cambridge University Press, 1985, p. 1.

mai mult cu cât inițiatorul ei preconiza ceea ce părea departe de a se realiza: o “înflorire a metafizicii” și nu o disoluție a ei.²

Specificul legilor biologice, importanța acordată în cadrul acestora conceptului de teleologie, un concept metafizic prin excelență, natura explicațiilor oferite de teoriile biologice care s-au dezvoltat din trunchiul evoluționismului au făcut din biologie o știință cu un statut foarte incomod în contextul influenței din ce în ce mai mari a perspectivei neopozitivistă a Cercului de la Viena. Trecerea de la verificaționismul strict la confirmarea indirectă și apoi la falsificaționism nu a însemnat, pentru biologie, un progres în privința întemeierii teoretice a metodelor și a principiilor constitutive. Cu toate acestea, lozinca potrivit căreia “cunoașterea științifică trebuie să fie falsificabilă” a devenit “marele slogan al metodologiei biologiei contemporane”.³ Potrivit falsificaționismului, un enunț științific trebuie să poată fi falsificat, cu alte cuvinte, pentru ca un enunț să fie considerat științific, trebuie să știm ce îl poate falsifica, cel puțin în principiu. Dacă enunțul respectiv *rezistă* la confruntarea cu instanțele falsificatoare, el va fi considerat adevărat până la proba contrarie, adică până când va fi falsificat. Dificultatea apare însă atunci când enunțul este falsificat, și aceasta pentru că enunțurile științifice nu sunt propoziții izolate, ele fac parte dintr-un context mai larg, o teorie sau o ipoteză care la rândul ei se sprijină pe o seamă de alte teorii științifice. Dacă enunțul nostru este falsificat, ce altceva mai este fals? Poate că întreaga teorie din care face parte, sau poate întregul mănunchi de teorii pe care se sprijină aceasta?

Cu alte cuvinte, dificultatea principală a falsificaționismului este aceea că instanțele falsificatoare nu indică locul precis unde apare falsitatea în cadrul unei teorii sau ipoteze, sau chiar în cadrul unei ramuri întregi de teorii. Această alegere pică în seama omului de știință, care observă lipsa de confirmare între teorie și experiment. Dar acest aspect are consecințe greu de acceptat pentru obiectivitatea cercetării: “dacă orice enunț poate fi abandonat ca

² Ibidem.

³ Idem, p. 6.

urmare a unui experiment falsificator, și dacă istoria științei arată într-adevăr că cele mai importante și mai ferm susținute opinii au fost uneori abandonate în acest fel, înseamnă că nu putem identifica acele enunțuri care să fie necesar adevărate – enunțuri pe care să le acceptăm în orice condiții – care să fie cunoscute a priori. Nu putem trasa o linie de demarcație între astfel de enunțuri și enunțuri factuale contingente – enunțuri care pot sau nu să supraviețuiască încercărilor de falsificare – și astfel să avem un conținut empiric semnificativ din punct de vedere științific. În mod similar, orice enunț, indiferent cât de factual pare să fie, indiferent cât de vulnerabil în fața falsificării pare să fie, poate să fie păstrat în pofida oricărui experiment falsificator posibil. Putem susține la fel de bine că Pământul este plat, punând dovezile împotriva acestui enunț pe seamă falsității unora dintre presupuzițiile auxiliare care sunt falsificate împreună cu el de către fotografii ale Pământului realizate de astronauți.”⁴ Mai mult decât atât, din această perspectivă, falsificaționismul nu mai permite nici trasarea unei linii de demarcație între enunțuri științifice și enunțuri metafizice ca cele *condamnate* de neopozitivism. Pentru că am putea foarte bine să spunem că determinismul clasic care a făcut posibilă mecanica newtoniană a fost falsificat de mecanica cuantică și relativism. Or, aceasta înseamnă a spune că enunțurile metafizice sunt *falsificabile*. Cu alte cuvinte, nu mai există nici o deosebire între enunțuri științifice și enunțuri metafizice: “metafizica nu mai poate fi deosebită de știința teoretică.”⁵

Pentru biologie, aceste consecințe s-au dovedit extrem de fertile: o seamă de speculații filosofice referitoare la natura și mecanismele de funcționare ale organismelor și-au găsit astfel justificare ca fundamente teoretice pentru programe de cercetare de mare amploare, ceea ce a făcut ca linia de demarcație între cercetarea biologică și filosofia biologiei să devină din ce în ce mai

⁴ Idem, p. 7.

⁵ Idem, p. 8.

subțire, încât “ceea ce numim filosofie și ceea ce numim biologie reprezintă, în cel mai bun caz, o chestiune de etichetare arbitrară”⁶.

Toate acestea au făcut ca filosofia biologiei să devină un domeniu efervescent, foarte dinamic și fertil pentru teoretizările referitoare la statutul biologiei ca știință. În acest cadru, s-au conturat poziții teoretice susținute plecând de la încercarea de a răspunde la o altă întrebare *fierbinte* legată de statutul teoretic al biologiei: care sunt relațiile între biologie și celelalte științe, în special fizica?

Specificitatea metodelor și principiilor fundamentale din cercetarea biologică, pe de o parte, și succesele încercărilor de reconstrucție teoretică a fizicii, pe de altă parte, au făcut ca răspunsul la această *întrebare fundamentală* a biologiei să fie nu numai dezirabil, ci chiar necesar pentru evoluția biologiei ca știință: “de vreme ce avem la dispoziție o filosofie a fizicii, o teorie referitoare la logica și metodologia acesteia, la implicațiile sale epistemologice și metafizice, este firesc să aplicăm această teorie la o altă disciplină științifică, în particular la una care pare să fie destul de diferită de fizică. Dacă biologia nu reușește să satisfacă structura și criteriile de științificitate pe care această filosofie susține că le-a descoperit în cadrul fizicii, înseamnă că filosofia în cauză conține erori grave. Dacă, pe de altă parte, biologia reușește să satisfacă cerințele de științificitate propuse de teorie, acest lucru va asigura legitimitatea acesteia ca o teorie referitoare la natura științelor naturii în general, indiferent că este vorba de fizică sau de biologie”⁷. În mod evident, un astfel de optimism referitor la existența unei filosofii a fizicii ca o teorie coerentă și mai presus de toate completă poate părea cel puțin slab justificat; e greu de spus la ora actuală că avem la dispoziție o filosofie a fizicii care să fi trasat consecințele epistemologice și metafizice relevante ale teoriei relativității, ca să luăm doar un exemplu. Însă în ceea ce privește problema statutului teoretic al biologiei, succesul reconstrucțiilor teoretice parțiale ale fizicii a constituit un temei suficient pentru

⁶ Idem, pp. 10-11.

⁷ Idem, p. 14.

încercările de a construi răspunsuri semnificative la întrebarea legată de relația biologiei cu alte științe.

În principal, răspunsurile s-au îndreptat în două direcții: o seamă de filosofi cu interese în cercetarea biologică susțin cu fermitate ceea ce putem numi *autonomia biologiei* față de celelalte științe fundamentale, în primul rând fizica și chimia, pe când alții continuă, într-un anumit sens, programul neopozitivismului argumentând că, în cel mai bun caz, biologia este doar "o provincie a științelor naturii, o provincie care poate progresa numai dacă aplică metodele științelor naturii și, mai ales astăzi, metodele chimiei fizice și organice."⁸ În forma sa cea mai radicală, *provincialismul* susține că metodologia și principiile de bază ale biologiei nu trebuie să fie doar comparabile cu cele ale științelor fizice, ci chiar identice. Pe lângă temeiurile teoretice care provin, așa cum am văzut, din succesele reconstrucțiilor parțiale ale fizicii, această poziție este legitimată și de faptul că o parte a cercetării fundamentale din biologie, biologia moleculară, satisface cu succes cerințele de științificitate cerute de o teorie a științei construită pe calapodul științelor fizice. Însă, în mod evident, faptul că o ramură a biologiei are succes folosind metodologia științelor fizice nu este neapărat un argument că întreaga biologie trebuie sau poate să urmeze aceeași cale. Aceasta face ca polemica între cele două tabere, autonomismul și provincialismul, să fie în continuare o polemică deschisă: nu există suficiente argumente pentru a înclina balanța într-o direcție sau alta, chiar dacă există argumente puternice de ambele părți. Cu atât mai mult cu cât temeiurile care stau la baza celor două poziții diferă semnificativ din punct de vedere teoretic: "principalul fundament filosofic al autonomismului este epistemologic; vizează formularea, întinderea și întemeierea cunoașterii biologice. Temelia filosofică a provincialismului este metafizică; se sprijină pe convingeri referitoare la *genurile* ultime sau la natura *obiectelor* studiate de biologie."⁹ Cu alte cuvinte,

⁸ Idem, p. 16.

⁹ Idem, p. 21.

implică argumente referitoare la ierarhia nivelurilor de organizare a lumii naturale.

Însă, dincolo de fundamentele teoretice, se poate spune că ambele poziții au la origine presupuziții metafizice. Pe de o parte, autonomismul se originează în convingerea că între lumea vie a organismelor și cea nevie, anorganică, există o diferență de natură, o diferență care atrage după sine o deosebire fundamentală în ceea ce privește metodele, instrumentele și explicațiile oferite de științele care studiază lumea organismelor, față de cele care studiază lumea anorganică. Vitalismul și organicismul, cele două doctrine care susțineau această diferențiere netă a tuturor explicațiilor oferite de științele biologice față de cele oferite de științele fizice, au ieșit de multă vreme din câmpul ipotezelor științifice autentice, rămânând doar în tratatele de istorie a biologiei și a metafizicii. Cu toate acestea, adepții provincialismului consideră că cele două doctrine continuă să blocheze progresul cercetării biologice oferind legitimitate convingerilor autonomiste. Pe de altă parte, provincialismul se originează la rândul său în convingerea încă metafizică a unității științei, potrivit căreia științele naturii vor trebui să ajungă, mai devreme sau mai târziu, la o unitate metodologică, având în vedere că obiectul lor de studiu este același: lumea naturală sau materială. Diferențele care există de la un nivel de organizare la altul sunt nesemnificative sau trebuie oricum depășite către o unitate teoretică legitimată de unitatea lumii materiale: "obiectul de studiu al tuturor științelor este în mare același. Toate științele studiază materia în mișcare – este adevărat, structurată pe diferite niveluri de organizare, unele dintre acestea putând fi descrise în mod autonom, dar toate fiind produsul variabilelor din chimie și fizică și explicabile în termenii acestora."¹⁰

La prima vedere, faptul că cele două poziții au la bază presupuziții metafizice nu are consecințe pentru cercetarea propriu-zisă pentru că deciziile de cercetare se iau în funcție de datele înregistrate în urma confruntării ipotezelor cu rezultatele

¹⁰ Idem, p. 22.

experimentelor. De unde, s-ar putea trage concluzia că polemica între adepții celor două tabere este una pur filosofică, care nu prezintă interes pentru problema statutului teoretic al biologiei. Dacă biologia va satisface standardele de științificitate specifice fizicii și chimiei sau va rămâne o știință autonomă, cu legi, metode și principii specifice, este o chestiune care nu poate fi decisă decât de rezultatele cercetării. Însă, ca întotdeauna, lucrurile nu sunt atât de simple. Asumarea unei poziții sau a celeilalte decide direcțiile în care se va extinde cercetarea pe viitor. Adepții autonomismului vor continua să dezvolte ipoteze și explicații folosind metode *neortodoxe* din perspectiva provincialismului, de pildă apelând la explicații teleologice pentru comportamentul organismelor studiate. La rândul lor, adepții provincialismului vor încerca să continue și să extindă progresele înregistrate de biologia moleculară, căutând să obțină rezultate semnificative folosind metodologia *ortodoxă* a fizicii și chimiei actuale și căutând explicații deterministe.

Toate aceste dificultăți fac ca problema statutului teoretic al biologiei să fie încă departe de o soluționare. Cu atât mai mult cu cât polemica continuă și la nivelurile inferioare, la nivelul conceptelor specifice diferitelor ramuri ale biologiei care, în multe cazuri, nu se regăsesc la nivelul teoriilor din fizică și chimie. Acesta este cazul conceptului de "specie biologică", așa cum vom vedea în continuare, în privința căruia am putea spune că există tot atâtea interpretări câte interpretări ale evoluționismului există: "în pofida rolului său aparent crucial în cea mai impunătoare realizare a biologiei, teoria cuprinsă în paginile lucrării lui Darwin, *Originea speciilor*, încă nu este un concept clarificat."¹¹ Uneori este pusă sub semnul întrebării chiar teoria evoluționistă, pe temeiul că nu poate fi o teorie științifică: cum putem oferi o explicație științifică unui fenomen – cum este originea vieții – inaccesibil observației? Evoluționismul presupune transformarea genetică a unei specii sau a unei părți dintr-o specie în alte specii, de regulă de-a lungul unei perioade foarte lungi de timp. Cum acest proces nu este observabil ca atare, nu putem pretinde că putem să-i dăm o explicație

¹¹ Idem, p. 33.

științifică. "Frumusețea" arborelui evoluției în care biologia încearcă să integreze diversele fosile de organisme descoperite ca dovezi ale evoluției nu există decât în ochii privitorului și nu în realitate. Evoluționismul nu poate avea astfel statutul unei teorii științifice respectabile. La aceasta se poate replica că teoria evoluționistă este totuși cel mai bun candidat la o explicație științifică a fenomenului apariției vieții pe pământ. Extrapolând, putem trage concluzia că, în pofida dificultăților legate de clarificarea statutului său teoretic, biologia circumscrie totuși un domeniu al cercetării fundamentale, o achiziție importantă pentru perspectiva științifică asupra lumii.

Problema "speciilor"

De regulă, acceptăm ideea că ființele vii, organismele individuale pe care le întâlnim în natură sunt grupate în specii a căror înșiruire și ierarhizare dă naștere la taxonomii. Cu alte cuvinte, varietatea organică din natură se supune și ea unei anumite 'ordini', ca și entitățile conceptuale. Este însă această ordine una naturală sau artificială, construită de mintea umană? Oamenii alcătuiesc o specie pe care o numim de multe ori *homo sapiens*, dar există *homo sapiens* în natură sau există doar în teoriile noastre despre o clasă de indivizi care au anumite caracteristici comune?

Dincolo însă de această descriere intuitivă a noțiunii de 'specie', din literatura de specialitate se desprinde o definiție mai precisă, care este, mai mult sau mai puțin explicit, presupusă de orice teorie evoluționistă: specia este "unitatea principală a evoluției"¹² și de aceea "este imposibil să discutăm despre evoluție sau despre oricare alt aspect al filosofiei biologiei fără să avem o înțelegere solidă a conceptului de specie biologică"¹³. Cu toate acestea, nu există un acord general cu privire la ce înseamnă mai

¹²Ernst Mayr, "What Is A Species And What Is Not?", *Philosophy of Science*, 63 (June 1996), p. 262.

¹³Ibidem.

precis 'unitatea principală a evoluției'. Mai mult decât atât, "concluzia că există în natură obiecte concrete descriptibile și care să merite denumirea de 'specii' nu este unanim acceptată"¹⁴, unii autori considerând conceptul de 'specie' ca fiind doar un concept inventat de om în mod arbitrar și nu sub constrângerea unor entități reale. Aici se impune următoarea observație: orice teorie biologică care vorbește de evoluția speciilor trebuie să asume că speciile sunt entități reale pentru că, altfel, ar trebui să accepte că discută de fapt despre evoluția diverselor aspecte ale unui concept, ceea ce este absurd. Prin urmare, întrebarea este "ce este o specie ca fenomen natural concret?"

Pentru a răspunde la această întrebare este firesc să pornim de la ce întâlnim de fapt în natură sub numele de specii. Astfel, biologii ne vor spune că speciile sunt populații de organisme care împărtășesc o mulțime de trăsături caracteristice: dimensiuni, obiceiuri, constante reproductive etc. Ce criteriu folosim atunci când spunem că o anumită populație de organisme individuale alcătuiește o specie? La prima vedere, pare rezonabil să considerăm că o populație de organisme este o specie atunci când membrii săi împărtășesc anumite proprietăți caracteristice (poate *esențe reale*), deci că ceea ce contează în identificarea și demarcarea speciilor ca entități reale sunt aspectele morfologice. Unii autori consideră însă că cercetările biologice au arătat că acest concept tipologic după care speciile sunt doar genuri nu este satisfăcător, existând trăsături ale populațiilor de organisme care nu pot fi acoperite de acest concept. Mai mult, s-a descoperit că există specii biologice care nu pot fi individuate folosind doar caracterele morfologice¹⁵. Plecând de la aceste dificultăți, s-a conturat în timp un concept mai adecvat: o populație de organisme alcătuiește o specie în măsura în care membrii săi alcătuiesc o comunitate reproductivă, adică împărtășesc aceeași zestre genetică. Conceptul de 'comunitate reproductivă' vine însă și el cu anumite constrângeri, de pildă aceea că o populație de organisme trebuie să posede anumite mecanisme

¹⁴Idem, p. 263.

¹⁵Idem, 269.

de izolare față de alte specii sau față de speciile înrudite, pentru a-și putea păstra identitatea, etc. Însă pe baza acestor considerații nu putem spune decât că o populație de organisme merită denumirea de specie dacă satisface anumite criterii. Dar în funcție de ce criterii stabilim criteriile după care o populație de organisme alcătuiește o comunitate reproductivă? Nu putem spune oare că teoria decide ce este natural, adică teoriile noastre despre specii biologice decid ce este o specie biologică?

Plecând de la distincția între clasă-particulari și specie-organisme biologice, unii autori, de pildă Hull¹⁶, au argumentat că speciile, ca și organismele individuale, sunt entități istorice, localizate spațio-temporal. Ele apar în urma evoluției prin selecție naturală sub forma unor 'copii' ale indivizilor selecționați, și nu sub forma unor 'mulțimi' de indivizi cu trăsături specifice comune¹⁷. Această perspectivă, consideră Hull, "rezolvă mai multe anomalii din biologie, filosofia biologiei și chiar din filosofie"¹⁸. Dacă speciile nu sunt grupuri sau clase de indivizi cu trăsături comune, evităm dificultatea de a stabili care anume trăsături comune unei populații de organisme sunt relevante și, în același timp, nu mai trebuie să ne întrebăm de ce populații de organisme care împărtășesc trăsături considerate în genere relevante nu alcătuiesc aceeași specie. Ce ne împiedică însă să punem și aici aceeași întrebare: cum stabilim criteriile în funcție de care decidem că anumite organisme sunt 'copii' ale organismelor selectate de evoluție? Potrivit acestei definiții, speciile sunt entități *individuale* și nu clase; unii autori consideră însă că această definiție reprezintă o soluție radicală și mult prea simplistă pentru rezolvarea așa-numitei probleme a speciilor: "Soluția radicală la problema speciilor biologice susținută de Ghiselin [...] și Hull [...] a fost aceea de a considera speciile drept indivizi și nu drept clase. Prin indivizi ei înțeleg entități care au o 'localizare spațio-temporală,

¹⁶David L. Hull, "A Matter of Individuality", *Philosophy of Science*, 45 (september, 1978), pp. 335-360.

¹⁷Idem, p. 340.

¹⁸Idem, p. 335.

sunt bine organizate, sunt coezive și continue în timp’[...] Această idee s-a dovedit extrem de productivă ca o sursă de noi intuiții referitor la problema speciilor. Cu toate acestea, este momentul să depășim distincția simplă între clasă-individ și să dăm o descriere mai detaliată a proprietăților entităților biologice.”¹⁹ Cu atât mai mult cu cât există bune temeiuri pentru a considera că diversitatea organismelor din natură nu poate fi *prinsă* într-o singură structură teoretică; cu alte cuvinte, încercarea de a argumenta în favoarea *cele mai bune* definiții a speciilor vine mai degrabă dintr-o neînțelegere a complexității lumii naturale: “pentru a surprinde complexitatea modelelor de variație din natură sunt necesare o diversitate de concepte referitoare la specii. A subsuma această variație unui singur concept dă naștere la confuzii și tinde să treacă cu vederea probleme importante legate de evoluție. [...] Dacă situațiile speciilor sunt diverse, atunci pentru reflectarea acestei diversități s-ar putea să fie necesară și dezirabilă o diversitate de concepte.”²⁰ S-ar părea că pe această cale se poate ajunge la o justificare a dezacordului care există la ora actuală între diverse teorii și paradigme referitor la problema speciilor, în pofida faptului că unii autori consideră că dezacordul este mai degrabă o chestiune care provine din asumarea unor *filosofii* diferite decât din observarea amănunțită a lumii naturale. Cu atât mai mult cu cât întreaga teorie a evoluției a lui Darwin cere o soluție unică la problema speciilor.²¹

Cu toate acestea, o soluție unică poate fi construită numai într-un cadru teoretic unic, or, acest deziderat este departe de a fi satisfăcut. Mai mult decât atât, dezacordul care înconjoară problema speciilor pune în discuție chiar presuposițiile care stau la baza taxonomiei tradiționale, poate departamentul cel mai

¹⁹ Robert N. Brandon, *Concepts and Methods in Evolutionary Biology*, Cambridge University Press, 1996, p. 107.

²⁰ Brent D. Mishler și Michael Donogue, “Species Concepts: A Case for Pluralism”, în Elliot Sober (ed.), *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*, M.I.T. Press, 1994, p. 226.

²¹ Alexander Rosenberg, op. cit., p. 180

important din cadrul științei biologice: "taxonomia, care înseamnă studiul diversității organismelor, specificarea genurilor sau unităților lor fundamentale și a relațiilor dintre ele, ocupă un loc central în cadrul întregii științe a biologiei. Taxonomia nu este doar o condiție necesară pentru descrierea științifică a obiectului de studiu al biologiei; este, în același timp, și cea mai cuprinzătoare datorită faptului că utilizează descoperirile și teoriile din fiecare compartiment al biologiei în stabilirea tipurilor, genurilor și unităților necesare pentru descrierea științifică."²² La baza acestei întreprinderi extrem de importante stau două presupoziii *absolute*, cum le-ar numi Collingwood: prima presupozitie stipulează că există o *singură* teorie științifică corectă (descriere corectă) a claselor sau tipurilor fundamentale de entități biologice (flora și fauna); cea de-a doua stabilește *coerența* acestei teorii cu teoriile din celelalte ramuri ale științei, mai precis, coerența cu imaginea științifică despre lume conturată de celelalte științe.

Dacă una dintre categoriile fundamentale ale taxonomiei este conceptul de specie și, așa cum am văzut, nu există încă o descriere sau o definiție larg acceptată cu privire la acesta, înseamnă că, cel puțin parțial, nu există o singură teorie științifică corectă cu privire la clasele sau tipurile de entități care alcătuiesc lumea vie. Or, aceasta înseamnă a pune în discuție chiar posibilitatea taxonomiei științifice și, mai departe, posibilitatea biologiei ca știință.

Speciile ca genuri naturale

Toate aceste dificultăți legate de conceptul de specie biologică afectează atât de puternic teoria evoluționistă încât unii autori au tras concluzia că aceasta eșuează în încercarea de a da o explicație științifică a originii și evoluției speciilor. Cu alte cuvinte, aceasta nu reprezintă răspunsul la prima presupozitie a taxonomiei tradiționale, aceea că există o *singură* descriere corectă a tipurilor sau genurilor de organisme care alcătuiesc lumea vie. În fața acestei

²² Idem, p. 181.

concluzii radicale, alți autori s-au grăbit să exploreze și ultima posibilitate de a *salva* caracterul științific al teoriei evoluționiste, susținând că aceasta eșuează în a oferi o explicație adecvată din punct de vedere științific a originii și evoluției speciilor, pentru simplul motiv că nu a avut niciodată un asemenea obiectiv, în pofida titlului lucrării de căpătâi a lui Darwin²³.

De vreme ce, așa cum am văzut, nu există o explicație adecvată *unică* a speciilor, și de vreme ce lumea naturală cuprinde o diversitate extrem de mare de organisme pe care le numim specii, rezultă că orice încercare de a elabora o teorie *unică* pentru a descrie această diversitate este din capul locului sortită eșecului. Speciația, mecanismul principal al procesului de evoluție, nu poate primi o descriere unică; granița care definește clasa regularităților cu ajutorul căroră descriem comportamentul și relațiile dintre tipurile de organisme din natură este de multe ori foarte vagă și nu putem spune cu siguranță unde ar trebui să se închidă. Toate acestea par să fie motive suficiente pentru a trage concluzia că teoria selecției naturale *nu poate* să ofere o explicație adecvată pentru originea speciilor. Dar sunt oare și temeiuri suficiente pentru a trage această concluzie? Răspunsul poate fi căutat plecând de la formularea filosofică a tezei de mai sus. Dacă nu există o descriere unică a ceea ce numim specii și dacă natura ne înfățișează o diversitate foarte mare de astfel de tipuri de organisme, înseamnă că speciile nu sunt *genuri naturale*. Dacă ar fi genuri naturale, atunci, în pofida diversității lor, ar trebui să avem deja o descriere unică suficient de bună din punct de vedere operațional, așa cum avem în cazul altor clase de entități pe care le considerăm în mod corect genuri naturale. Și aceasta pentru că, așa cum observă Rosenberg, "nu există o proprietate comună și specifică fiecărui membru al unei specii, și nici vreun tip de proprietate pe care fiecare specie să o împărtășească cu toate celelalte, în virtutea

²³ Aceasta este, de pildă, teza pe care o susține Rosenberg, care afirmă că cerința de a oferi o astfel de explicație vine dintr-o înțelegere greșită a teoriei lui Darwin. Op. cit., p. 201.

căreia să putem spune că denumirea de *specie* reflectă o trăsătură comună."²⁴

Cu alte cuvinte, avem o teorie satisfăcătoare asupra a ceea ce numim genuri naturale, potrivit căreia o clasă de entități reprezintă un gen natural dacă satisface următoarele condiții: elementele care o alcătuiesc există în natură, independent de intervenția omului, toate împărtășesc anumite proprietăți esențiale pentru fixarea identității lor, proprietăți suficiente și necesare pentru a stabili apartenența la clasa sau genul în cauză. Clasele de entități pe care le numim specii satisfac doar prima condiție, sunt entități care există în natură, independent (cel puțin până acum) de intervenția omului. Dar nu o satisfac și pe cea de-a doua. În cazul claselor de entități pe care le numim specii nu există un set *limitat* de proprietăți pe care să le putem considera esențiale și care să dea criteriile de identitate și de apartenență la specia respectivă, așa cum se întâmplă în cazul genurilor naturale. Prin urmare, speciile nu sunt genuri naturale.

Înainte de a ne grăbi să tragem și alte concluzii, merită să analizăm în amănunt traseul pe care se ajunge la această concluzie. Așa cum spune Rosenberg, în cazul speciilor, spre deosebire de genurile naturale, nu există un set de proprietăți esențiale împărtășite de toți indivizii din specia respectivă, care să ne îndreptățească să le conferim în mod întemeiat statutul de membri ai speciei respective. Dacă așa stau lucrurile, ne putem întreba de ce vorbim, totuși, de specii și de apartenența la o specie sau alta în funcție de măsura în care candidații au sau nu anumite trăsături sau împărtășesc anumite caracteristici. Pentru că este cu siguranță un adevăr că acest lucru se întâmplă în mod curent atât în cercetarea de teren cât și în lucrările de laborator. Dacă nu ar exista nici un temei pentru a considera că clasificările pe care le realizăm au la bază anumite proprietăți împărtășite de membrii speciilor respective, nu am avea nici măcar un motiv, cu atât mai puțin un temei, pentru a folosi denumirea de specie sau chiar de clasă pentru tipurile de organisme din natură. Ar trebui mai degrabă să inventăm denumiri pentru fiecare organism în parte; evident că granița care

²⁴ Idem, p. 201.

fixează setul proprietăților în funcție de care stabilim apartenența la specia respectivă nu este decât o graniță trasată de mâna omului și, prin urmare, imperfectă. E limpede, de asemenea, că de-a lungul timpului această graniță se poate deplasa și setul proprietăților în funcție de care stabilim apartenența la specie se schimbă. Însă aceasta nu este decât o consecință a evoluției și ar trebui să o acceptăm ca atare.

Apoi, așa cum am văzut, Rosenberg afirmă că ceea ce se întâmplă în cazul organismelor individuale este valabil și în cazul speciilor: nu există o trăsătură comună tuturor speciilor în virtutea căreia să putem să le numim pe toate specii. Și aici ne putem pune aceeași întrebare: dacă așa stau lucrurile, atunci cum se face că vorbim totuși despre specii și facem eforturi mari pentru a găsi nișe pentru acestea în trunchiul măreț al evoluției? De vreme ce nu există o trăsătură comună tuturor speciilor care să ne permită să le numim pe toate specii, o trăsătură sau un set de trăsături esențiale comune tuturor claselor pe care le numim specii, înseamnă că teoria evoluției nu este decât o poveste filosofică, care nu reflectă nimic din ceea ce se întâmplă sau s-a întâmplat până acum în lumea naturală.

Să presupunem totuși că acceptăm această concluzie: în cazul speciilor, nu avem temeiuri să vorbim de proprietăți esențiale, nici la nivelul indivizilor, nici la nivelul speciilor ca atare. Prin urmare, clasificările pe care le facem pot fi cerute de interese practice dar nu au o acoperire teoretică semnificativă. În pofida a ceea ce am dori să se întâmple, natura ne înfățișează o diversitate foarte mare de proprietăți și organisme, o diversitate care face practic imposibilă trasarea unor granițe *corecte* între specii. Dar este oare posibil să trasăm astfel de granițe *corecte* în cazul altor entități? Merită observat că, în acest caz, trasarea corectă a unor linii de demarcație între clase de entități înseamnă de fapt trasarea unei granițe fixe care să permită individuarea membrilor clasei respective de-a lungul timpului, în funcție de un set de proprietăți care să nu se schimbe în timp. Pentru o seamă de autori, între care și Rosenberg, acest lucru este neproblematic în cazul genurilor naturale, cum sunt, de pildă, elementele chimice: "ceea ce

deosebește un element de altul este diferența în privința structurii lor atomice, numărul și aranjamentele electronilor, protonilor și neutronilor din care atomii lor sunt uniform alcătuiți. Tocmai pentru că toate elementele chimice au un tip de structură comună [...] teoria atomică justifică taxonomia tabelului periodic."²⁵

Din păcate, conceptul de gen natural este totuși departe de a avea o asemenea situație privilegiată. Ca și în cazul speciilor biologice, nu există o teorie unică cu privire la genurile naturale; chiar dacă, în multe cazuri, se consideră că esențialismul este o perspectivă puternică, este totuși departe de a întruni adeviziunea tuturor participanților la disputa pe tema genurilor naturale.

Prin urmare, concluzia că speciile nu sunt genuri naturale pare cel puțin o concluzie pripită. Chiar dacă ea nu pare să aibă temeiuri suficient de puternice, merită totuși să mai zăbovim puțin asupra motivelor care o determină. În rândul acestor motive, poate că rolul cel mai important îl joacă o anumită prejudecată cu privire la genurile naturale, potrivit căreia acestea sunt clase de entități *naturale* fixate o dată pentru totdeauna și care nu se schimbă în timp. Această prejudecată apare explicit la Rosenberg: "dacă speciile sunt genuri de organisme asemănătoare altor genuri naturale de lucruri, să zicem elementele chimice, atunci nu se poate spune că ele evoluează și se schimbă. Și aceasta face ca teoria evoluției să fie potențial incoerentă ca descriere adecvată a procesului de speciație."²⁶ Cu alte cuvinte, genurile naturale sunt clase de entități care nu suferă transformări majore de-a lungul timpului, nu evoluează și rămân mai mult sau mai puțin neschimbate. Din păcate, această perspectivă nu duce, așa cum am văzut, la o lămurire a statutului speciilor. Faptul că speciile nu sunt genuri naturale nu face decât să complice și mai mult lucrurile.

De unde provine această prejudecată cu privire la genurile naturale? La prima vedere, din faptul că teoriile tradiționale asupra genurilor naturale sunt *rigide* și cer ca dinamica relațiilor și comportamentului membrilor acestora să fie foarte redusă. O

²⁵ Idem, p. 202.

²⁶ Idem, p. 34.

perspectivă pe care o confirmă într-adevăr, dacă putem spune astfel, tabelul periodic al elementelor chimice (de unde și insistența cu care adepții acestei poziții construiesc argumente plecând de la acest caz!). Dacă părăsim tabelul ordonat al elementelor chimice și intrăm în lumea la fel de ordonată a fizicii clasice, situația nu se schimbă prea mult. Ce se întâmplă însă mai departe, în lumea dezvăluită de mecanica cuantică și fizica relativistă? Pentru un adept al perspectivei tradiționale, aici începe un adevărat coșmar. Pentru că aici dispăre ordinea tabelului periodic al elementelor. Ar trebui oare să tragem concluzia că aici nu mai putem vorbi de genuri naturale? Poate că am putea, mai degrabă, să tragem concluzia că trebuie să renunțăm la perspectiva tradițională și la fundamentul ei metafizic, mecanicismul. Poate că merită într-adevăr să punem în lumină nivelurile complexe de organizare scoase la iveală de mecanica cuantică și relativitate. Pornind de la aceasta, nu mai putem vorbi de clase *fixe* de entități. Poate că nu am avut niciodată temeuri prea puternice să vorbim de astfel de clase, în afara dorinței noastre de a descoperi inteligibilul în lumea naturală, și atunci trebuie abordată foarte serios încercarea de a construi o nouă perspectivă asupra genurilor naturale. O perspectivă care să permită o dinamică complexă și variată a relațiilor între particularii care alcătuiesc ceea ce numim genuri naturale. De ce, totuși, identificarea speciilor cu genurile naturale afectează, așa cum spunea Rosenberg, procesul de speciație? Pentru că acesta, ca proces-cheie al evoluției, are loc în perioade foarte lungi de timp, suficient de lungi încât schimbarea respectivă să fie acceptabilă pentru perspectiva tradițională asupra genurilor naturale. Nici elementele din tabelul periodic nu au existat acolo de la apariția universului. Această identificare ar reprezenta totuși o amenințare la adresa speciației, dacă perspectiva tradițională asupra genurilor naturale ar avea ca presupuziție ideea că indivizii nu se pot schimba *deloc* în timp, indiferent de cât de lungi ar fi secvențele temporale în discuție. Dar aceasta ar însemna că avem de-a face aici cu o dogmă: pentru că nu găsim prea multe temeuri care să susțină acest lucru în afară de acelea care țin de dorința de a impune o anumită perspectivă metafizică asupra lumii naturale. Faptul că,

din perspectiva mecanicismului, lucrurile au relații fixe unele cu altele nu este un argument suficient și nici necesar, dat fiind că la un nivel de organizare mai adânc (cel cuantic, de exemplu) și mai complex (de pildă cel al organismelor biologice) lucrurile stau cu totul altfel.

Toate aceste aspecte par să indice că motivele care stau la baza concluziei că speciile nu sunt genuri ale naturii provin la rândul lor din rămășițele unei perspective metafizice asupra lumii (mecanicismul, dacă mai trebuie spus) la care nu putem renunța ușor și care este încă foarte influentă.

Putem păstra totuși această concluzie cu condiția să o formulăm mai precis: speciile nu pot fi genuri ale naturii din perspectiva unei anumite teorii asupra speciilor, aceea că speciile sunt indivizi și nu clase, și din perspectiva unei anumite teorii asupra genurilor naturale, aceea că genurile naturale sunt clase fixe de particulari, ale căror inter-relații și reacții la mediu au o dinamică foarte redusă, suficient de redusă încât să nu permită variații mari care ar putea determina schimbări de identitate!

Însă, iarăși, nu este obligatoriu să acceptăm această perspectivă. Cu atât mai mult cu cât avem temeiuri nu doar teoretice (lipsa unei explicații adecvate pentru clase întregi de particulari - de pildă, organismele biologice), ci și practice (impasul cu privire la direcțiile viitoare ale cercetării care rezultă din acest impas explicativ) pentru a căuta să o depășim. Am putea încerca mai degrabă să articulăm o teorie a genurilor naturale care să permită evoluția și astfel speciația. O astfel de teorie ar putea cuprinde și speciile. Ce ar fi de câștigat de aici? Pentru o metafizică a genurilor naturale, principalul avantaj ar fi acela că o astfel de teorie ar permite o toleranță mult mai mare în ceea ce privește criteriile de identitate și apartenență la gen. Pe lângă o mai mare diversitate, acestea se pot schimba în timp și în consecință clasificările pe care le facem pot fi mai *aplicate* pe natură, ceea ce este de dorit ținând seama de faptul că vorbim de genuri naturale. Pentru biologie, principalul avantaj ar putea proveni dintr-un plus de constrângeri teoretice asupra categoriei principale a taxonomiei (specia), bine ancorate în rețeaua teoretică a științei. Pentru că, din

perspectiva unei astfel de teorii asupra genurilor naturale, între entitățile care fac obiectul de studiu al biologiei și cele care sunt studiate de celelalte științe ale naturii nu ar mai exista diferențe semnificative: biologii nu ar mai fi nevoiți să privească cu invidie la tabelul periodic al elementelor, chiar dacă, în continuare, decizia cu privire la ce este o specie rămâne o decizie *internă*, care aparține biologiei. Dacă acceptăm că speciile biologice sunt genuri naturale nu înseamnă că știm precis ce sunt speciile. Dar poate că avem astfel un context mai favorabil pentru a formula un răspuns la această întrebare.

O aplicație

Din cele prezentate până acum reiese că și în cazul conceptului de 'specie biologică', și în cazul celui de 'gen natural' se ridică același tip de întrebări, că disputa se poartă și aici între o tabără nominalistă și una realistă.

Dacă acceptăm ipoteza că specia biologică este un exemplu de gen natural, chiar unul dintre exemplele favorite ale filosofilor atunci când discută problema genurilor naturale, așa cum consideră Hull²⁷, trebuie să ne întrebăm care este relația dintre particulari și organismele biologice. Vom discuta în continuare această întrebare din perspectiva problemei individuației, deși ea poate fi abordată și din alte perspective. Ca punct de plecare este foarte potrivită observația lui Hull după care 'criteriile pe care le folosesc biologii pentru a individua organisme sunt aceleași ca cele folosite de filosofi - continuitatea spațio-temporală, unitatea și localizarea'²⁸. Diferențele între cele două abordări nu sunt prea accentuate: filosofii sunt mai interesați în a dezvolta criterii pentru individuirea persoanelor, pe când biologii sunt interesați de individuirea organismelor (deși persoanele sunt și ele organisme), iar atunci când se ocupă de individuirea organismelor, filosofii preferă

²⁷ David Hull, op. cit., p. 355.

²⁸ Idem, p. 344.

organismele adulte, pe când biologii încearcă să lucreze cu un concept mai cuprinzător care să includă și organismele aflate în faza de creștere, și, în sfârșit, ultima diferență ar fi aceea că filosofii, spre deosebire de biologi, care se restrâng la discutarea unor cazuri reale, discută problema individuației pe exemple imaginare, 'science fiction'²⁹. S-ar mai putea adăuga totuși două diferențe importante. Prima este aceea că biologii nu își pun problema care părți ale organismului contează pentru a realiza individuirea, ei iau organismul în mod holist, ca un întreg pentru care caută criterii de individuire. Filosofii, în schimb, separă persoanele în părți componente sau accentuează diverse laturi ale acestora atunci când propun criterii de individuire. A doua diferență, un corolar, este aceea că biologii înțeleg de regulă același lucru atunci când folosesc termenul de 'organism', pe când filosofii înțeleg lucruri ușor diferite atunci când folosesc termenul de persoană.

Dacă acceptăm aceste observații, devin mai ușor de explicat și de înțeles dificultățile filosofice de trasare a unor criterii clare de individuire. Dacă prin persoană înțelegem, de pildă, așa cum face Chisholm într-o orientare materialistă, un set de particule fizice situate undeva în creier, fără să putem spune nimic mai mult sau mai precis, putem chiar să renunțăm la căutarea unor criterii de individuire, pentru că nu vom ști ce să individuiăm. Același lucru este valabil și dacă susținem că persoana este ceva de natură nonfizică, imaterială sau spirituală. Dacă susținem o perspectivă dualistă, va trebui să spunem că persoanele sunt atât spirit cât și trup și vom oferi alte criterii de individuire (presupunând că am reuși să evităm dificultățile care par inevitabile: ce înțelegem prin spirit, care este relația sa cu trupul etc.). Biologii nu se confruntă cu aceste probleme, ceea ce le permite să individueze fără polemici nesfârșite organisme foarte diferite sau care trec prin schimbări majore, chiar spectaculoase, de-a lungul ciclului de viață. S-ar putea obiecta că acest aspect se datorează faptului că conceptul de persoană este mult mai complex decât cel de organism. Obiecția poate fi respinsă

²⁹Ibidem.

apelând la una dintre diferențele semnalate de Hull, anume aceea că biologii discută numai cazuri reale pe când filosofii apelează și la exemple *science fiction*, imaginare. Putem găsi argumente pentru a susține că acest apel este nejustificat: în primul rând, pentru că ne interesează problema individuării persoanelor reale și nu imaginare, în al doilea rând, pentru că, studiind literatura dedicată acestui subiect, putem observa că dacă am renunța la cazurile imaginare am găsi mult mai ușor un acord în privința criteriilor de individuire, iar în al treilea rând pentru că exemplele imaginare afectează chiar conceptul de persoană de la care plecăm: dacă adoptăm perspectiva materialistă a lui Chisholm, de pildă, și presupunem că, la un moment, dat acea parte din creierul unui individ în care este situată 'persoana' este transplantată în cutia craniană a unui alt individ, înseamnă că una dintre trăsăturile unei persoane este și posibilitatea acesteia de a-și schimba trupul, ca să amintim numai una dintre dificultăți. Or, acesta nu mai este același concept de persoană ca cel de la care am plecat.

Concluzii

Prima concluzie, generală, care se poate desprinde este aceea că problema genurilor naturale poate fi abordată într-o manieră mult mai relaxată și mai clară dacă sunt luate în seamă și teoriile cu privire la specii. Urmând această linie, s-ar putea ajunge la ideea că cel puțin unele genuri naturale sunt reale și nu doar concepte arbitrar inventate de om, anume speciile. Tot pe această linie se poate construi un concept de gen natural care să nu mai facă apel la proprietăți esențiale și, deci, să nu mai plătească tribut realismului metafizic, fără ca, în același timp, să se sprijine numai pe relația de similaritate. Speciile sunt individuate și demarcate folosind aspecte morfologice, geografice, ecologice, comportamentale, genetice³⁰.

³⁰Ernst Mayr, op. cit., p. 276.

De ce nu s-ar putea realiza același lucru și pentru genurile naturale? Trebuie să se renunțe doar la ambiția de a găsi un criteriu *unic* pentru stabilirea identității unei clase de entități individuale ca gen natural.

A doua concluzie, mai restrânsă, privește problema individuației. În biologie, individuația se realizează pe baza unui 'echilibru reflectiv' între organism și specie. Organismele individuale sunt individuate în cadrul unei specii în funcție de gradul în care ele împărtășesc trăsături caracteristice speciei respective, iar acestea se stabilesc în funcție de similaritățile între membrii unei populații de indivizi care împart același areal geografic, au obiceiuri reproductive comune, aceeași zestre genetică etc. S-ar putea să avem temeiuri să credem că în cazul persoanelor reale se poate încerca aceeași strategie. Prin urmare, am putea avea temeiuri să credem că problema filosofică a individuației poate să devină mai puțin spinoasă decât am fost obișnuiți.

Bibliografie orientativă

1. T. E. Wilkerson, *Natural Kinds*, Avebury Series of Philosophy, Ashgate Publishing Limited, 1995
2. Michael J. Loux (ed.), *Universals and Particulars: Readings in Ontology*, Anchor Books, New York, 1970
3. St. Lawrence, C. Macdonald (eds.), *Metaphysics. Contemporary Readings in the Foundations of Metaphysics*, Blackwell, Oxford, 1998
4. P. Van Inwagen, P. W. Zimmerman (eds.), *Metaphysics: The Big Questions*, Blackwell, Oxford, 1998
5. B. Miller, „'Exists' and Existence”, *Review of Metaphysics*, 40, 1986
6. H. W. Noonan, *Personal Identity*, Routledge, London, 1989
7. Ilie Pârvu (ed.), *Istoria științei și reconstrucția ei conceptuală*, Editura științifică și Enciclopedică, București, 1981
8. W. Vossenkuhl, „Understanding Individuals”, în Eva Schaper, Wilhelm Vossenkuhl (eds.), *Reading Kant. New Perspectives on Transcendental Arguments and Critical Philosophy*, Blackwell, Oxford, 1989
9. N. Cocchiarella, On The Logic Of Natural Kinds, *Philosophy of Science*, 43, 1976
10. P. Kitcher, Species, *Philosophy of Science*, 51, 1984
11. E. Sober (ed.), *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*, MIT Press, Cambridge, 1994
12. R. N. Brandon, *Concepts and Methods in Evolutionary Biology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996
13. E. Mayr, *Evolution and the Diversity of Life*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1976
14. W.V.O. Quine, *From A Logical Point of View*, Harper and Row, New York, 1961
15. M. Ruse, *The Philosophy of Biology*, Hutchinson Press, London, 1973

HAOS, DETERMINISM ȘI MODELARE MATEMATICĂ

(considerații epistemologice pe marginea geometriei fractale)

Marcel Bodea

«...chaos and nonlinear dynamics, an important subject that has changed our understanding of the foundations of physics. It has taught us that deterministic systems are not necessarily predictable.»

J. L. BAKER and J. P. GOLLUB – *Chaotic Dynamics*, Cambridge University Press, 1992

«In general deterministic systems are chaotic systems, even initial states very close to one another will lead in short intervals of time to future states that diverge quickly from one another.»

THE CAMBRIDGE DICTIONARY OF PHILOSOPHY - Cambridge University Press, 1996

«Relativity eliminated the Newtonian illusion of absolute space and time; quantum theory eliminated the Newtonian dream of a controllable measurement process; and chaos eliminates the Laplacian fantasy of deterministic predictability.»

James GLEICK – *Chaos – making a new science*, Viking Penguin Inc., New York, 1988¹

Lucrarea de față este o perspectivă filosofic-analitică de clarificare conceptuală.

¹ J. Gleick îl citează în partea introductivă (Prologue, p. 6) pe fizicianul american Joseph Ford [*What is Chaos?* – Georgia Institute of Technology]

În matematică nu se vorbește propriu-zis de determinism. *Determinismul* este un concept prin excelență filosofic. Determinismul este un concept din perspectiva căruia se poate 'lectura', se poate interpreta matematica în relația ei cu Natura, se poate explicita relevanța epistemologică a unor teorii matematice. În analiza de clarificare conceptuală de față, tema epistemologică centrală este cea a HAOSULUI DETERMINIST, iar teoria matematică avută în principal în vedere este GEOMETRIA FRACTALĂ. Geometria fractală deschide o nouă perspectivă asupra raportului dintre parte și întreg, dintre ordine și dezordine, dintre regulat și neregulat, dintre determinat și imprevizibil. Raportul dintre ele vizează în principal modelarea matematică ca posibilitate de aderență a matematicii la realități fizice haotice și complexe. Un aspect particular, dar esențial, în 'practica științifică efectivă' a modelării matematice este cel al încărcării cu semnificație fizică a unor concepte matematice.

Consecințele în fizică nu au întârziat să apară. În spiritul celor afirmate mai sus, analiza de față va încerca să surprindă și cum « dimensiunea fractală » 'se îndreaptă' spre o semnificare fizică. Un studiu de caz va încerca să ilustreze în mod simplu parte din aceste aspecte.

Precizăm că, în analiza de față, conceptul de haos (determinist) nu este cel riguros matematic, cel din teoriile matematice ale haosului sau ale sistemelor dinamice neliniare. Deși are legături cu definiția matematică a haosului, prin 'HAOS DETERMINIST' se va înțelege aici ceva mult mai general și anume: posibilitatea nașterii, pas cu pas, în mod determinat, a dezordinii – sub o multitudine de forme specifice ale ei, în principal geometrice: ascuțitul, fragmentatul, neregulatul, încâlcitul, dezmembratul, discontinuu, întortochiatul, împrăștiatul, ciuruitul, cavernosul etc. - din ordine. În plus, într-o perspectivă epistemologică (înțeleasă ca *teorie a cunoașterii științifice*) haosul determinist va fi asociat frecvent și cu asimetria dintre explicația și predicția științifică, asimetrie frecvent întâlnită în fizica fenomenelor haotice și complexe.

În plus, un alt obiectiv al analizei de față este acela de a releva – în principal aici prin intermediul geometriei fractale – posibilitățile unor teorii matematice de a modela, în sens descriptiv și în vederea explicației și predicției științifice, realitatea fizică.

Vom începe cu câteva precizări conceptuale elementare, apropiate de cele întâlnite frecvent în limbajul natural cotidian.

COMPLEXITATE: într-o primă aproximație (o caracterizare intuitivă a complexității cu referire la elementele constitutive ale unui sistem și la relațiile dintre ele), un sistem fizic este complex dacă este format din mai multe subsisteme [≥ 3] (corpuri, particule, sisteme fizice etc.) aflate în interacțiune. Vom conveni că sistemele în care interacțiunile se exercită permanent sunt mai complexe decât cele în care nu se exercită permanent. În acest sens complexitatea este o caracteristică de stare a unui sistem fizic. Numeroase sisteme însă, sunt considerate complexe doar de la un anumit număr (în general mare) de subsisteme.

HAOS: într-o primă accepțiunea, haosul este asociat dinamicii, evoluției sistemelor fizice complexe, fiind astfel o caracteristică de proces a unui sistem fizic complex.² Haosul este astfel înțeles în sensul de *comportament haotic*. Comportamentul haotic, într-o primă aproximație, este caracterizat de evoluția imprevizibilă, imprecizabilă, neregulată a valorilor – precizate la un moment dat – parametrilor de stare ai unui sistem fizic (sau ai subsistemelor sale, când sistemul este caracterizat prin intermediul acestora).³ Pentru sistemele dinamice neliniare, *neliniaritatea* este

² «În decursul ultimilor 20 de ani un număr din ce în ce mai mare de fizicieni, matematicieni și ingineri au înțeles că o imensă varietate de sisteme din toate domeniile științei și tehnologiei prezintă o evoluție în timp foarte complicată. Această comportare complexă, (este) numită haos determinist [...] - Martin G. GUTZWILLER – Haosul în mecanica clasică și cuantică, Editura tehnică, București, 1998, p. IX

³ «[...] les travaux de E. Lorenz (1963) et de D. Ruelle et F. Takens (1971) montrèrent que des comportements chaotiques et imprédictibles pouvaient apparaître dans des systèmes déterministes et à petit nombre de variables dynamiques. [...] Le domaine des comportements erratiques à petit nombre de degrés de liberté avait été initialement appelé 'chaos

expresia matematică a acelei iregularități a comportării sistemului dinamic care are una dintre consecințe în impredictibilitatea evoluției lui pe termen lung. Să observăm că în literatura științifică de specialitate (domeniul dinamicilor neliniare haotice) există conceptele de 'haos tare' și 'haos slab'.⁴

Referindu-ne la anumite poziții exprimate în literatura de specialitate, vom preciza posibilitatea ștergerii distincției dintre *sisteme haotice* și *sisteme complexe* – *haotic* vizând în primul rând o anumită iregularitate în timp, iar *complex* vizând îndeosebi o anumită iregularitate în spațiu – tocmai prin renunțarea la astfel de asociații (corespondențe) prea tranșante. Astfel, un sistem poate fi haotic spațial și complex temporal. Aceasta cu atât mai mult cu cât în realitate, de cele mai multe ori, cele două tipuri de iregularități sunt inseparabile.

Exemple:

Un sistem fizic format din mai multe particule care nu interacționează nu este un sistem complex. Comportamentul său, descris de principiul întâi al dinamicii [« Un punct material rămâne în repaus sau în mișcare rectilinie uniformă atâta timp cât asupra sa nu acționează alte corpuri care să-i schimbe această stare de repaus

déterministe'.» - CHAOS et DÉTERMINISME (sous la direction de: A. Dahan DALMEDICO, J.L. CHABERT, K. CHEMLA) , cap. *Physique et calcul* - Pierre BERGÉ et Monique DUBOIS - *Chaos déterministe expérimental et attracteurs étranges*, Le Seuil, Paris, 1992, p. 115-116

⁴ Întrucât un loc central în această analiză se acordă geometriei fractale, să menționăm că dacă un rol important în apariția sensibilității la condiții inițiale este, în general, strâns legat de existența atractorilor haotici (stranii), această dependență a fost legată matematic și de fractali, fiind puse în evidență frontiere fractale ale unor bazine de atracție asociate unor atractori nehaotici. Ca reprezentări geometrice vizuale ale haosului determinist din cadrul teoriei sistemelor dinamice neliniare, atractorii haotici sau stranii pot fi distinși și prin faptul că nu au dimensiuni ce pot fi exprimate prin numere întregi, ci sunt mulțimi fractale. Analiza unor sisteme fizice din această perspectivă conduce la justificarea unor limite reale în posibilitățile de predicție. Detaliile unor astfel de abordări, însă, deși conceptuale, nu vor face obiectul analizei de față.

sau de mișcare rectilinie uniformă. »], nu este haotic, în sensul că este bine determinat.

Un sistem fizic format din mai multe particule care nu interacționează permanent este dat de un gaz aflat într-o incintă: un gaz de masă m ocupând o anumită incintă de volum V suficient de mare, în anumite condiții de presiune și temperatură, poate fi considerat un gaz ideal. Interacțiunea între molecule nu este în acest caz permanentă, ea reducându-se doar la ciocnirile dintre molecule. În ipoteza că am cunoaște starea mecanică a tuturor moleculelor la un moment dat, comportamentul său, din perspectiva parametrilor mecanici de stare, devine în scurt timp haotic. Dacă volumul V este în schimb suficient de mic, interacțiunile tind să devină permanente și în acest sens, un gaz aflat într-o incintă mică este un sistem considerat mai complex decât un gaz rarefiat (în anumite condiții situația tinde să se complice suplimentar prin ceea ce se numește: o transformare de fază). O altă clasă de sisteme formate din particule care nu interacționează permanent este cea în care tipul de interacțiune este reprezentat prin forțe cu rază scurtă de acțiune (de exemplu, agregatele).

Pentru un sistem fizic simplu, format din două corpuri care interacționează, descrierea evoluției sale este complet determinată, comportamentul său nefiind haotic.

« Problema celor ' n ' corpuri (≥ 3) » este cea a unui sistem fizic complex cu interacțiuni permanente și cu comportament în general greu predictibil.

Există sisteme care, la un moment dat, pot fi considerate complexe, dar din perspectiva anumitor parametri de stare comportamentul lor nu este haotic. De exemplu, după explozia unui obuz în vid, centrul de masă continuă să se miște neperturbat pe o parabolă, ca și cum nimic nu s-ar fi întâmplat, deși schije se împrăstie în jurul traiectoriei și pot fi considerate în interacțiune. Acest fapt este consecința teoremei conform căreia forțele interne nu pot schimba mișcarea centrului de masă. [În momentul în care

una din schije atinge Pământul, intervine o forță externă care schimbă mișcarea centrului de masă.]⁵

Există situații în care complexitatea sistemului fizic crește prin creșterea numărului de interacțiuni care, în mod necesar, trebuie luate în considerare. Astfel, putem considera o serie de corpuri de masă m în interacțiune gravitațională, aflate inițial în repaus, și considerate sau chiar approximate ca neutre din punct de vedere electric. În studiul mișcării corpurilor, singura forță de interacțiune care va conta va fi cea gravitațională. Spre deosebire de această situație, considerând mai multe sarcini electrice, inițial în repaus, în interacțiune și neglijând atracția gravitațională dintre aceste elemente, de îndată ce sarcinile electrice sunt în mișcare, pe lângă forțele electrostatice considerate inițial (situație aproximată cu repausul), mai trebuie luate în mod necesar în considerare și forțele magnetice deoarece sursa câmpului magnetic o reprezintă sarcinile electrice în mișcare.

Există și alte 'combinații' care complexifică lucrurile: « problema celor 'n' corpuri cu ciocniri » etc.

Se poate face observația importantă că: complexitatea și comportamentul haotic al sistemelor fizice încep să se manifeste încă de la niveluri de asociere între subsisteme pe care în mod firesc le putem considera elementare (de exemplu, începând doar cu trei corpuri în interacțiune gravitațională). În plus, există modalități simple prin care comportamentul unui sistem fizic devine rapid haotic (de exemplu, ciocnirile). Există și sisteme care, de asemenea prin modalități foarte simple: alipiri aleatorii, devin complexe doar pentru un număr mare de particule. Există însă o serie de alți factori importanți prin care comportamentul unui sistem fizic devine rapid haotic, de exemplu, *sensibilitatea la condiții inițiale*. *Nelinaritatea* (în sens matematic), *ruperea de simetrie* etc. sunt alte 'surse' majore ale haosului și complexității. Aproape de fiecare dată mulți dintre acești factori sunt conjugați.

⁵ Anatolie HRISTEV – *Mecanică și acustică*, Editura didactică și pedagogică, București, 1982, p. 77

Să menționăm aici și poziția conform căreia distincția dintre determinat și nedeterminat, dintre necesar și întâmplător, dintre predictibil și impredictibil ține, nu de natura obiectivă a lucrurilor și a stărilor, ci de limitele capacităților noastre instrumentale – practice și teoretice – de cunoaștere.

Preliminarii

Considerații generale

Explicația și predicția în fizica fenomenelor complexe, ca problemă epistemologică, sunt în mod necesar legate de abordările științifice ale haosului și complexității. Chestiunile centrale vizează, pe de o parte, aspecte legate de noile concepte fundamentale introduse în cercetarea științifică a complexității și haosului, pe de altă parte, natura noilor teorii matematice care permit descrierea științifică a fenomenelor complexe și haotice. Astfel de concepte sunt: sistem de condiții inițiale $\rightarrow$ spațiul fazelor, fractal, sensibilitate la condiții inițiale, stabilitate $\leftrightarrow$ instabilitate, structură disipativă, turbulență, bifurcație, intermitență, puncte catastrofice, atractor straniu etc. Desigur sunt prezente și multe din conceptele clasice: determinare $\leftrightarrow$ nedeterminare, certitudine $\leftrightarrow$ incertitudine, ordine $\leftrightarrow$ dezordine, determinat $\leftrightarrow$ aleator, legi statistice etc., unele dintre acestea fiind reevaluate și redefinite, cum sunt de exemplu: sistem de condiții inițiale, stabilitate etc. Sunt dezvoltate noi teorii matematice chiar dacă, în cazul unora, anumite idei care stau la baza acestora sunt ceva mai vechi: teoria haosului, teoria catastrofelor, geometria fractală. Desigur sunt prezente în descrierea matematică a haosului și complexității și teorii considerate clasice cum este, de exemplu, teoria sistemelor dinamice, teorii adaptate însă noilor metode de modelare matematică în care calculatorul joacă un rol esențial. Există însă și teorii științifice care nu sunt propriu-zis matematice dar care sunt complementare descrierii și explicării, din perspectiva

anumitor științe, a stărilor complex-haotice, cum este în acest sens, de exemplu, teoria structurilor disipative.

Stărilor complexe și haotice le corespunde în plan teoretic o situație complicată. Aceasta este dată, printre altele, de: mulțimea parametrilor de stare, dificultatea soluționării matematice efective a unor sisteme de ecuații cu multe ecuații și necunoscute, anumite valori atribuite unor constante, imposibilitatea de principiu a soluționării fizico-matematice complete a unor probleme, complexitatea și dificultatea intrinsecă a unor teorii matematice capabile să modeleze astfel de situații etc.

Există o serie de presupoziii tacite, ca de exemplu aceea că *haosul* [în fizică] *ca aspect aleatoriu* se manifestă pe fondul existenței unor legități naturale, că deși manifestările sunt aleatorii, totuși în ‘masa’ aspectelor aleatorii există o anumită determinare ca rezultat al acțiunii unor legi de natură fizică. Ceea ce trebuie subliniat este că în astfel de procese aleator-haotice și în general în situațiile complexe, deși este recunoscută prezența și acțiunea unor legi ale naturii, trecutul unui proces respectiv al stării unui sistem S_i , poate să nu semene cu trecutul unui proces sau al stării unui sistem fizic S_k considerat asemănător cu S_i deși este subînțeleasă prezența unor condiționări de tip determinist.

Prezența ‘determinismului’ în fundalul acestor situații face ca în aceste cazuri presupusele surse ale haosului și ale complexității să rezide în trei mari categorii de surse:

- cauze necunoscute
- interacțiunea unor cauze greu de corelat
- importanța majoră în planul consecințelor a unor

factori considerați în aparență ca fiind cu influență minoră

Un aspect, sub forma unei considerații epistemologice de principiu, privește demarcația dintre condiții inițiale, care sunt locale și contingente, și legi (principii), care sunt universale și necesare; o interpretare ‘deterministă’ a acestui aspect este următoarea: legile ‘strict deterministe’ și legile statistice vizează doar <posibilități> din lumea reală, în timp ce de fiecare dată, condițiile inițiale, accidentale, determină -prin intermediul legilor-

care anume posibilitate se va actualiza (sau, mai nuanțat, care anume clasă de posibilități este actualizabilă).

De exemplu, un concept precum cel de « haos determinist » păstrează 'con condiționarea deterministă' din fundalul aspectelor aleatorii sau nedeterminate invocate – ca două dintre trăsăturile stărilor haotice –, dar una dintre caracteristicile sale esențiale privește raportarea la sursele haosului. Din perspectiva haosului determinist, sursele instabilităților nu sunt: cauze necunoscute, interacțiuni de cauze complexe sau importanța deosebită în planul consecințelor a unor factori considerați în aparență cu influență minoră. Uneori cauze foarte diferite produc efecte asemănătoare în timp ce cauze aparent asemănătoare produc efecte foarte diferite. În general, situații asemănătoare au 'istorii' diferite iar 'istorii' asemănătoare au un deznodământ diferit. Tocmai absența unor anumite regularități în acest sens, este caracteristica acestui gen de fenomene haotice.

Un exemplu de sursă a haosului, din această perspectivă, îl reprezintă *sensibilitatea la condiții inițiale*: perturbații sau variații 'mici' ale valorilor parametrilor inițiali de stare, produc efecte 'mari', imprevizibile, în stări ulterioare considerate pentru momente, în general, foarte îndepărtate în timp. Haosul determinist înseamnă în acești termeni, o 'sensibilitate' mare a stărilor cvasistaționare evolutive ale unui sistem fizic – în intervale lungi de timp – la variații mici ale condițiilor inițiale, astfel încât evoluția devine imprevizibilă în sens clasic. Trebuie menționat aici că acesta este un aspect esențial diferit de cel vizând a treia sursă de haos invocată mai sus: importanța deosebită în planul consecințelor a unor factori considerați în aparență cu influență minoră. Esențial este însă faptul că sursa haosului are din această perspectivă o dimensiune mai accentuat obiectivă. O foarte clară și sugestivă caracterizare a acestui aspect o face fizicianul Martin C. GUTZWILLER, cercetător în acest domeniu, în cartea sa 'Haosul în mecanica clasică și cuantică': «*Cu un secol în urmă, matematicienii au descoperit că unele sisteme aparent simple pot avea mișcări foarte complicate. Deși comportarea lor este extrem de puternic determinată de condițiile de pornire, ele nu ajung în*

situații finale stabile care să constituie un model fix, ușor de recunoscut. Deși mișcările lor arată a fi calme și regulate pe durate reduse, ele par să evolueze în salturi imprevizibile, atunci când pozițiile și impulsurile sunt urmărite pe intervale lungi de timp.» și aceasta în opoziție cu imaginea clasică 'standard': conform punctului de vedere cel mai răspândit, un sistem dinamic evoluează de-a lungul unui parcurs regulat care, în cele din urmă, devine o evoluție periodică sau staționară.⁶

Interacțiunile fizice doar locale (acțiunea lor semnificativă este localizată la un domeniu spațio-temporal mărginit), sunt o altă sursă a comportamentului haotic.

Neliniaritatea ca și descriție matematică este de asemenea sursă de haos și complexitate.

Ca o observație complementară, în prelungirea celor spuse mai sus, vor fi semnalate aici, alte două surse specifice de haos, asociate conceptelor de 'haos slab' și 'haos tare'. *Haosul slab* reprezintă o comportare haotică bazată pe tratarea perturbativă sau pe o rupere de simetrie pornind de la o comportare regulată. *Haosul tare* reprezintă tratarea fiecărei traiectorii în mod izolat, bazat pe intersecția a două varietăți: una stabilă și cealaltă instabilă.⁷

A face o *descriere științifică* a unor fenomene naturale fizice complexe și haotice înseamnă a dispune, pe de o parte, de un aparat matematic corespunzător, pe de altă parte, de a asimila anumite abstracțiuni matematice unor mărimi fizice care se anunță a fi necesare într-o astfel de descriere. O consecință imediată este, în primul rând, aceea a creației conceptuale și, în al doilea rând, a resemnificării conceptuale a unor noțiuni consacrate. Astfel, chestiunea esențială este cea a raportului dintre **Fizică** și **Matematică**, cu consecințe directe asupra diverselor modele fizico-matematice în tratarea complexității și haosului. Varietatea

⁶ Martin G. GUTZWILLER – *Haosul în mecanica clasică și cuantică*, Editura tehnică, București, 1998, p. 3-4

⁷ Martin G. GUTZWILLER – *Haosul în mecanica clasică și cuantică*, Editura tehnică, București, 1998, p. 4-5

problemelor induce o diversitate de metode concrete de investigație. Orice metodă în sens larg are însă – în mod absolut necesar – o componentă matematică esențială și specifică. Noile teorii ale haosului și complexității nu înseamnă numai introducerea de noi concepte – de exemplu, prin semnificarea fizică a unor abstracții matematice –, ci în unele cazuri chiar reconfigurarea semnificației fizice a unor concepte fundamentale ale fizicii. De exemplu, o nouă abordare (foarte recentă) a sistemelor dinamice se face cu ajutorul unei *dinamici simbolice* în care traiectoriile în sens clasic din spațiul fazelor sunt înlocuite cu coduri, care în cazurile cele mai simple sunt prezente sub forma unor secvențe binare: «[...] realizarea oricărui progres suplimentar este condiționată de găsirea unui cod adecvat pentru toate traiectoriile clasice. Un cod bun conține întreaga istorie a unei traiectorii clasice particulare a unui sistem hamiltonian cu haos tare; dar informația primară a acestuia este total diferită de cea dată de coordonatele din spațiul fazelor [...]. Semnificația fizică este conținută în relația dintre aceste două descrieri de importanță egală. (sublinierile ne aparțin) [...] pe măsură ce ne apropiem de haos slab, codul sau devine prea complicat, sau încetează să mai descrie traiectoria în mod unic.»⁸ Este prezent aici, la nivelul unor relații conceptuale, un aspect analitic important: conceptele aflate într-o anumită relație (de exemplu: de ‘explicație conceptuală’ vizând înlocuirea unui concept științific mai puțin precis cu altul mai precis; de punere în corespondență a unor concepte cu conținut informațional diferit; etc.) trebuie să se ‘intersecteze’ într-o oarecare măsură sub raportul reprezentării intuitive și al conținutului fizic. Există astfel atât o relație de continuitate cât și de discontinuitate între conceptele considerate.

La fel de importantă și de necesară, este și o altă dimensiune, complementară și corelată matematicii, anume, cea a tipului de aproximație care simplifică realitatea fizică complexă și haotică la

⁸ Martin G. GUTZWILLER – *Haosul în mecanica clasică și cuantică*, cap. *Probleme de împrăștiere, codificare și măsuri invariante multifractale*, Editura tehnică, București, 1998, p. 387-388

care se face referință. (În fizica clasică, de exemplu: « problema celor 'n' corpuri doar pentru $n=3$ și o serie de condiții suplimentare celor din formularea de bază », « modelul gazului ideal », « modelul gazului Lorentz », « curgerea laminară », « difuzia limitată » etc.) Cu aceste teorii aplicate în fizică se încearcă să se transforme acumulări de fapte și rezultate aparent disparate, într-o disciplină cu caracter științific în care o varietate de rezultate bogate se obțin prin metode asemănătoare, caracterizate printr-o economie de mijloace de expresie și operare științifică.

Un aspect important în abordările teoretice ale complexității și haosului privește <formularea problemelor>. Există dificultăți în a formula științific adecvat « probleme », chiar dintre cele mai simple, astfel încât să fie abordabile fizic-fenomenologic și descriptibile formal-matematic eficient. Orice explicație sau predicție științifică este condiționată de o formulare cât mai clară și neechivocă a problemelor însoțită de o descriere cât mai precisă a tuturor aspectelor – considerate semnificative – legate de aceasta.

Pe de altă parte, trebuie subliniat că există probleme a căror formulare științifică este foarte simplă, soluționarea lor fiind însă extrem de dificilă, posibilă numai între anumite limite sau chiar imposibilă. Un exemplu remarcabil de problemă simplă formulată este 'problema celor trei corpuri': « Se dau trei corpuri în spațiul tridimensional. Aceste corpuri interacționează gravitațional. Masele corpurilor și condițiile inițiale (pozițiile și vitezele la momentul t_0) sunt cunoscute cu precizie. Se cere determinarea pozițiilor și vitezelor acestora la un moment $t_i \neq t_0$. » Să observăm, suplimentar, că transcrierea matematică nu comportă nici o dificultate: ecuațiile diferențiale care guvernează mișcarea corpurilor sunt cunoscute și implică funcții elementare; condițiile inițiale sunt cunoscute. Mai mult, conform unei teoreme matematice de existență și unicitate, problema astfel formulată are soluție și aceasta este unică! Din perspectivă 'laplaceană', problema pare să fie chiar banală. Dar, încercarea de soluționare a acestei probleme, dovedește că ea este extraordinar de complexă! Fără a intra în detalii, se impun câteva observații în acest sens: sistemul de ecuații diferențiale nu poate fi rezolvat pe cale

analitică; pentru anumite valori ale condițiilor inițiale soluțiile sunt periodice devenind apoi instabile; în vecinătatea soluțiilor periodice instabile există cupluri de soluții corespunzătoare unor traiectorii foarte complicate; etc. Analiza problemei celor trei corpuri este relevantă pentru un anumit tip fizico-matematic foarte specific (și special) de premise sau surse ale complexității și impredictibilității.⁹

Orice abordare epistemologică a chestiunilor legate de complexitate și haos reclamă o familiarizare științifică corectă cu teoriile abstracte, matematice sau fizice, relevante în acest sens.

Formulare și explicitare

Exemplul următor încearcă să sugereze riscurile pe care formulări corecte, dar neexplicate le antrenează. Două sunt în principal consecințele negative majore pe care formulări sintetice neexplicate le pot avea: neînțelegerea sau/și confuzia. Explicitarea înseamnă, aici, a pune cât mai precis în corespondență: noțiuni matematice cu presupuse realități fizice și a preciza de fiecare dată noțiunile matematice care rămân matematice ca atare, acestea jucând doar rolul de « catalizatori » descriptibili ai ‘realității fizice’ (un exemplu clasic și simplu în acest sens, este aplicarea teoriei numerelor complexe în studiul caracteristicilor fizice ale circuitelor electrice).

Un model cosmologic spune ceva despre originea universului (primele trei minute ale Universului, de exemplu), evoluția acestuia și eventualul său sfârșit (ultimele trei minute ale

⁹ «[...]les méthodes qualitatives dans la théorie des équations différentielles. Dans le domaine plus particulier de la mécanique céleste (ce qu'il appelle les équations de la dynamique),[...] en évidence la complexité globale du mouvement en analysant certaines trajectoires particulières et la situation au voisinage immédiat de celles-ci. [...] des situations d'une complexité absolument insoupçonnée [...] les équations de la dynamique pouvaient recouvrir des mouvements extrêmement irréguliers, ceux-ci étant d'ailleurs la règle plutôt que l'exception.» - Ivar EKELAND – *Le Calcul, l'Imprévu* (Les figures du temps de Kepler à Thom), Éditions du Seuil, Paris, 1984, p. 54-55

Universului, de exemplu). Postdicțiilor și predicțiilor cosmologice ale primelor sau ultimelor trei minute ale Universului le sunt asociate stări fizice deosebit de haotice și complexe. O cosmologie științifică nu este, însă, propriu-zis știință. Există suficiente formulări teoretice care nu se pot afla în mod evident sub control empiric. O cosmologie este științifică în măsura în care se bazează pe rezultate ale științelor și în măsura în care elaborarea unui model cosmologic folosește, în general, metode științifice. Prin obiectivele ei însă, ea transcende științelor, se apropie de metafizică și devine în final un model ontologic al realității în ansamblul ei.

În cartea sa « Primele trei minute ale universului – un punct de vedere modern asupra originii universului » (1976), Steven WEINBERG (laureat al Premiului Nobel pentru fizică) afirmă:

*« La început a fost o explozie. Nu o explozie ca pe pământ, pornind dintr-un centru bine definit și răspândindu-se pentru a cuprinde din ce în ce mai mult aerul înconjurător, ci o explozie care a avut loc simultan peste tot, umplând de la început tot spațiul, unde fiecare particulă a fost proiectată departe de orice altă particulă. »*¹⁰

În text există o subliniere importantă, neexplicitată însă, nici imediat în continuare, nici pe parcursul întregii cărți. Aceasta, poate conduce foarte ușor la nedumerire, la neînțelegere sau la confuzie. O confuzie de principiu – generată de experiența cotidiană – este următoarea: materia și expansiunea acesteia apar într-un spațiu-timp pre-existent. Aceasta este cel puțin o primă impresie care pare să se degaje din imaginea propusă de S. Weinberg, impresie care nu se ameliorează pe parcursul lecturii. Pe de altă parte, se subliniază că, de la început și, ca urmare, în permanență, materia ocupă tot spațiul! În consecință, netrecând cu ușurință peste sublinierea făcută, în absența unei explicitări se naște aparența unei contradicții, este prezentă o stare de confuzie.

Într-un model cosmologic de aceeași natură – tot de tip Big Bang – formulat de John D. BARROW în 1994, originea Universului

¹⁰ Steven WEINBERG – *Primele trei minute ale Universului*, Editura politică, București, 1984, p. 22

este altfel formulată, mai complet, dar, mai ales, ideea respectivă este explicitată:

« *Timpul, spațiul și materia par să-și aibă originea într-un eveniment exploziv din care s-a născut universul de astăzi în expansiune, răcindu-se treptat și rarefiindu-se continuu. Începutul universului a fost un infern de radiații [...].* »¹¹ Înțelegerea acestui model în această formulare reliefează într-o măsură mai mare rolul constructiv al subiectului care descrie sau își reprezintă, își 'constituie în interioritatea sa o posibilă exterioritate obiectivă'. Pentru posibilitatea afirmației: *Timpul, spațiul și materia par să-și aibă originea într-un eveniment exploziv din care s-a născut universul de astăzi în expansiune*, este necesară familiarizarea cu o anumită construcție matematică abstractă și neintuitivă, necesară la elaborarea unei astfel de viziuni ontologice cu suport științific. Dificultatea constă suplimentar – dincolo de teoria matematică propriu-zisă – în faptul că în însuși modelul respectiv trebuie făcută distincție între un spațiu pur matematic și un spațiu fizic. Să încercăm o foarte scurtă clarificare a acestui aspect. J. D. Barrow spune: « *Ne-am putea teme de implicațiile faptului că toate roiurile galactice se îndepărtează de noi. De ce de noi? Însă nu e cazul. [...] Spațiul curbat al universului nostru este ca suprafața tridimensională a unei sfere tetradimensionale – ceva ce nu ne putem imagina. [...] Universul inflaționar nu se manifestă ca o explozie care își are originea într-un punct din spațiu. [spațiul fizic (nn)] Nu există un spațiu [fizic (nn)] fundamental în care universul se dilată. [dar există un spațiu matematic în care se întâmplă aceasta (nn)] Universul conține tot spațiul existent.* »¹² Cu alte cuvinte, centrul de expansiune nu se află undeva în spațiul fizic ci într-un spațiu matematic fără nici o semnificație fizică. Prin expansiune spațiul fizic se auto-generează, în acest sens materia ocupând în permanență tot spațiul. J. Barrow oferă o analogie cu un

¹¹ John D. BARROW – *Originea universului*, Editura Humanitas, București, 1994, p. 9

¹² John D. BARROW – *Originea universului*, Editura Humanitas, București, 1994, p. 19-20

univers fizic-bidimensional înțeles ca suprafața unui balon care se umflă, balon aflat într-un spațiu matematic tridimensional, centrul sferei în expansiune nefiind evident pe suprafața sferei, neexistând de fapt nici un centru privilegiat pe suprafața acesteia. În plus, spațiul fizic ca suprafață a unei sfere este finit, dar nemărginit:

« [...] este posibil ca spațiu-timpul să aibă întinderea finită și totuși să nu aibă singularități care să formeze o limită sau o margine. Spațiu-timpul ar fi ca suprafața pământului, doar că ar avea încă două dimensiuni. Suprafața pământului are o întindere finită dar nu are limită sau o margine. »¹³

Acum deabia lucrurile par să fie mult mai clare.

Situații similare se regăsesc frecvent în noile descrieri matematice ale realității fizice complexe și ele țin de posibilitatea de a adapta construcții științifice abstracte la intuiții familiare.¹⁴

Intuiție și concept matematic

Topologia, ca domeniu distinct al matematicii, se impune aproximativ pe la începutul secolului XX. Ea apare ca o consecință a unor probleme de analiză matematică. Topologia nu este însă o ramură a analizei matematice, ci o formă de geometrie pentru care aparatul matematic al analizei matematice este esențial.¹⁵

¹³ Stephen W. HAWKING – *Scurtă istorie a timpului*, Editura Humanitas, București, 1995, p. 167

¹⁴ «Întrucât mecanica se află la baza înțelegerii noastre asupra naturii, se va impune probabil modificarea unora dintre ideile despre armonia și frumusețea universului. Ca prim pas, va trebui să studiem exemple de bază, total diferite, pentru a ne readapta intuiția. Este necesar să ne familiarizăm cu noi specimene de sisteme mecanice simple, bazate mai degrabă pe comportarea haotică, decât pe cea regulată. Propozițiile generale, abstracte nu pot servi acestui scop, deși ele devin necesare o dată ce a fost atins un nivel de înțelegere adecvat asupra problemelor considerate. (s. n.) - Martin G. GUTZWILLER – *Haosul în mecanica clasică și cuantică*, Editura tehnică, București, 1998, p. 4

¹⁵ Dată fiind importanța de fundal a dimensiunii topologice pentru analiza de față, cu titlu de reper istoric al constituirii topologiei, prezentăm câțiva dintre primii matematicieni a căror contribuție în acest domeniu a fost

Teoremele topologice în general se referă la proprietățile topologice ale mulțimilor de puncte. Proprietățile mulțimilor care depind numai de conexiunea lor se numesc topologice. Intuitiv și în limbaj obișnuit, a spune că o mulțime M este conexă revine la afirmația că ‘este formată dintr-o singură bucată’. Altfel spus, o figură geometrică este conexă dacă nu se compune din mai multe părți disjuncte. Și mai precis, o mulțime de puncte M este conexă dacă oricare două puncte ale ei pot fi unite printr-un drum în întregime conținut în M .

Dimensiunea topologică este o construcție matematică în prelungirea dimensiunii geometrice sau analitice euclidiene tradiționale. Ideea apare, într-o formă incipientă matematic, de exemplu la H. Poincaré (1912), ca urmare a relaționării numărului de dimensiuni cu noțiunea topologică de continuitate.¹⁶

Să caracterizăm pe scurt, ce este, într-un anumit sens, *dimensiunea topologică*. Se numește “tăietură” orice mulțime de puncte (o posibilă figură geometrică) care împarte un spațiu dat în două regiuni complet separate, altfel spus, în două mulțimi disjuncte. Astfel, pentru o dreaptă infinită, considerată ca un spațiu euclidian unidimensional continuu, un punct arbitrar al dreptei este o tăietură; aceasta în sensul în care abstracție făcând de acest punct-frontieră, nu putem ‘trece’ dintr-o regiune într-alta a dreptei considerând doar unidimensionalitatea sa. [Pentru o curbă (unidimensională) continuă închisă, o tăietură este reprezentată de două puncte-frontieră distincte, care decupează curba în două regiuni spațiale distincte, făcând imposibilă trecerea dintr-o parte în alta, considerând de asemenea doar aspectul unidimensional al acesteia.] Soluția trecerii dintr-o regiune spațială într-alta în cazul unidimensional ar fi ‘ieșirea’ într-un spațiu bidimensional. La fel,

hotărâtoare: K. Weierstrass (conceptul de limită a unei funcții); G. Cantor (teoria mulțimilor de puncte); H. Poincaré (topologie algebrică); F. Hausdorff (topologie în sensul teoriei mulțimilor); L. E. Brower (cercetarea conceptului de dimensiune); etc.

¹⁶ Henri POINCARÉ – *Dernières pensées*, Flammarion, Paris, 1963 (reed. Ed. 1913), p.137

considerând un spațiu euclidian bidimensional, un plan, și o tăietură reprezentată de o curbă-frontieră închisă, prin care trecerea este interzisă, spațiul continuu bidimensional plan este astfel separat în două părți distincte și disjuncte. Și în acest caz, soluția de a trece dintr-o regiune într-alta fără a intersecta frontiera, este aceea de a 'ieși' într-o a treia dimensiune. Fie acum un spațiu euclidian tridimensional. Construcția matematică continuă la fel: dacă în spațiul continuu tridimensional avem o tăietură reprezentată prin suprafața închisă a unei sfere, trecerea în interiorul sferei sau din interiorul sferei în exteriorul acesteia fără a intersecta suprafața sferei, se poate face de asemenea prin 'ieșirea' într-o a patra dimensiune. Etc. etc. Intuitiv, sub forma unei imagini metaforice, este vorba de o 'ocolire' a obstacolului-frontieră prin « tunelul » sau « podul » unei dimensiuni suplimentare. Un spațiu continuu are, astfel, *dimensiunea topologică* 'n', dacă poate fi separat prin « tăieturi » (tot spații continue) de dimensiune ' $n-1$ '.¹⁷ Această foarte scurtă exemplificare permite formularea unor aspecte deosebit de importante. Construcția riguros matematică bazată pe anumite concepte pur matematice se desfășoară de la 'dimensiunea 1' până la 'dimensiunea n'. Intuiția noastră, capacitatea noastră de reprezentare spațială, familiară *însoțește* construcția și conceptele abstract-matematice până la 'dimensiunea 3' inclusiv. Dincolo de această dimensiune « intuiția noastră se blochează », intuiția și conceptele matematice corespondente *se despart*.

Această situație de principiu, invocată mai sus, se regăsește frecvent în raportul dintre teoriile matematice ale haosului și complexității și realitățile fizice pe care sunt chemate să le descrie.

Referindu-ne la aceste teorii, construcțiile matematice interesează în cadrul funcției lor descriptive și prin relevanța lor analogică, adică prin acel aspect particular semnificând capacitatea anumitor construcții matematice de a modela anumite situații (sisteme, procese, fenomene) fizice. Acest aspect « analogic » al

¹⁷Matematicienii L. BROUWER (1913), K. MENGER (1922), P. URYSON (1922) vor pune bazele matematice precise ale acestor chestiuni.

matematicii are o consecință imediată: concepte matematice fundamentale în anumite capitole ale matematicii - de exemplu <geometria fractală> și noțiuni cum sunt cele de: « fractal », « dimensiune fractală » etc.- sunt transferate și ‘încărcate’ cu semnificație fizică (!) nu întotdeauna acest lucru este posibil); ele sunt astfel asimilate modelului sau teoriei fizice, aplicabile situației avute în vedere. Există însă « riscul » ca în acest fel, conceptele matematice respective să fie, la rândul lor, ‘încărcate’ cu un conținut intuitiv, complet străin de conținutul lor abstract matematic, situație care permite însă o anumită reprezentare sau ‘înțelegere intuitivă’ a conceptului matematic, aspect de loc de neglijat atunci când aplicăm matematica la descrierea realității.

Astfel, unul dintre ‘obiectele’ matematice fractale îl reprezintă clasa funcțiilor continue în nici un punct derivabile (un exemplu de « monstru matematic » de la sfârșitul secolului al XIX-lea! – deși « sănătoși » din punct de vedere matematic, acești monștri dovedeau lipsa de interes a respectivei comunități științifice de matematicieni pentru importanța lor matematică). Aceasta înseamnă, într-o reprezentare geometrică, faptul că respectiva curbă –graficul funcției- nu admite tangentă în nici unul din punctele sale. Este foarte greu de imaginat așa ceva. Să ne imaginăm o sârmă înfinit îndoită astfel încât este ascuțită în fiecare din punctele sale! Sau să ne imaginăm o sârmă ghimpată cu ghimpi în fiecare din punctele sale (evident și în punctele ramurilor (țepilor) ghimpilor)! *Ascuțitul, fragmentatul, neregulatul* sunt atributele asociabile, dar a le asocia fără a intercala deloc o liniaritate, o uniformitate, o regularitate cât de mică este ceva inimaginabil.

Aspectele invocate mai sus devin și mai relevante dacă se încearcă ‘înțelegerea intuitivă’ a «dimensiunii fractale».¹⁸ «Dimensiunea fractală» poate să fie o fracție, un număr irațional sau soluția unor anumite ecuații, în sensul unei valori intermediare între două numere naturale. În geometria euclidiană dimensiunile

¹⁸ Benoît MANDELBROT –*Obiectele fractale-formă, hazard și dimensiune*, Editura Nemira, București, 1998, p. 18-24

figurilor geometrice sunt numere întregi pozitive (chiar și în cazurile 'n'-dimensionale) și nu există figuri geometrice cu dimensiuni fracționare. În geometria fractală există figuri geometrice cu dimensiunea între, de exemplu, 1 și 2. (În acest sens *geometria fractală* nu este euclidiană.) Ce semnificație ar putea avea, pentru o figură geometrică, o dimensiune care se situează între 1 și 2? Foarte intuitiv, ar fi vorba de o figură *mai consistentă* decât o linie obișnuită, dar, simultan, *mai destrămată* decât o suprafață obișnuită (imaginativ-intuitiv: o mângălitură densă pe o coală de hârtie, ceva între o mulțime haotică de segmente aglomerate într-o porțiune a colii și o pată). Esențial devine aici raportul *continuu / discontinuu*. [Continuitatea și discontinuitatea sunt, privite matematic, noțiuni topologice. Pe de altă parte, însă, dincolo de speculațiile filosofice, Fizica secolului XX a dovedit o alternanță la nivelul structurii fizice a materiei între forme continue și discontinue de organizare. Să precizăm că continuitatea și discontinuitatea din fizică nu se identifică cu cele din matematică, deși de multe ori pot fi modelate prin acestea.] Există o astfel de alternanță continuu / discontinuu și ca o consecință a relației dintre observator și obiectul operației de măsurare, operație întotdeauna efectuată de către un observator prin medierea unui instrument de măsură. Este, în acest sens, o chestiune de rezoluție a aparatului de măsură. Acesta va fi aspectul care va conta aici din punctul de vedere al raportului: concept matematic \ reprezentare intuitivă, în cazul unei anumite abordări a *dimensiunii fractale*.

Atunci când, în mod obișnuit, ne raportăm printr-un instrument de măsură la un obiect fizic concret, nu avem în vedere o dimensiune reală absolută, intrinsecă, fixă, a sa. Este vorba doar de o <dimensiune efectivă>, relativă, a obiectului. Dimensiunea efectivă este relativă la condițiile de observare, la gradul de rezoluție al instrumentelor, la scara de analiză etc., cu alte cuvinte, este dependentă de (relativă la) raportul dintre: observator - instrument de măsură - obiect observat. Dimensiunea efectivă este schimbătoare și este atașată figurii geometrice care aproximează (reprezintă) cel mai adecvat obiectul real în condițiile de observație date. Obiectele fizice reale au la nivel descriptiv o succesiune de

dimensiuni euclidiene diferite, în funcție de rezoluția aparatului de măsură.

Un exemplu de trecere dintr-o dimensiune euclidiană într-alta, prin variația rezoluției instrumentului de măsură, este următorul: privind cu ochiul liber o bară metalică aflată la mare distanță, aceasta se aproximează printr-un punct de dimensiune '0'. Micșorând distanța, aproximația revine la un fir subțire, de dimensiune euclidiană '1'. Prin apropierea în continuare a barei metalice, aceasta ajunge la o « consistență » tridimensională, deci dimensiunea ei euclidiană devine '3'. Folosind un microscop cu rezoluție slabă, bara se reduce la o suprafață plană, deci bidimensională '2'. Crescând rezoluția, se ajunge la o suprafață continuă, dar 'ondulată' ('relief cu cratere') deci, cu profunzime spațială și crescând în continuare rezoluția (cu un microscop electronic), se poate ajunge la un nivel discret și finit, atomic-punctual, dimensiunea euclidiană fiind în acest caz, din nou, '0'. În felul acesta, obiectele reale, au la nivel observațional-descriptiv, o succesiune de dimensiuni euclidiene diferite, în funcție de rezoluția aparatului de măsură.

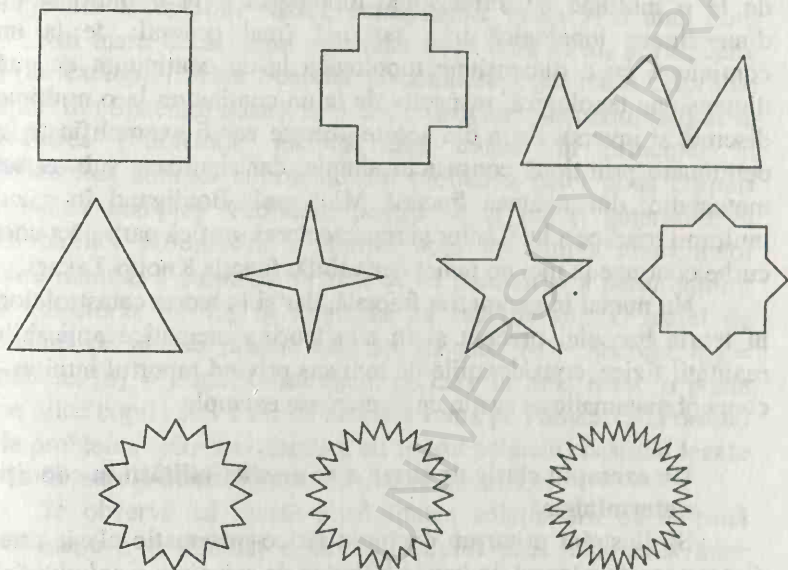
Se ridică, firesc, întrebarea: modificând rezoluția instrumentului de măsură în mod continuu, unde se face trecerea, în zona de tranziție, de la o dimensiune euclidiană la alta? Cum 'ieșim' și cum 'intrăm' dintr-o dimensiune euclidiană într-alta? Poate fi localizată o astfel de „frontieră”? Răspunsul negativ, justifică o abordare neconvențională a dimensiunii geometrice prin abandonarea dimensiunilor întregi în sens euclidian și introducerea dimensiunilor fracționare (intermediare) care, intuitiv, caracterizează o figură geometrică, tocmai în această « zonă de tranziție a nici unei dimensiuni euclidiene certe ». Este o trecere nu a unei frontiere sau tăieturi, ca în cazul topologic, ci a unei zone de tranziție dintre două dimensiuni euclidiene, prin 'ieșirea' într-o dimensiune fracționară, *dimensiunea fractală*. Se vede, odată în plus, cum raportul <Observator>-<Aparat de măsură>-<obiect măsurat> joacă un rol determinant în acest caz. Pentru orice O, A.m., o.m., și pentru orice variație continuă de rezoluție care are ca limite două dimensiuni euclidiene diferite, există o zonă

intermediară de tranziție cu dimensiune euclidiană incertă. În acest sens, fractalii sunt 'niște' intermediari care asigură continuitatea în discontinuitatea dintre două dimensiuni euclidiene întregi și vecine. Acesta este un efort de a face intuitivă dimensiunea fractală fracționară. În acest fel, deci, conceptul matematic de *dimensiune fractală* a fost 'încărcat' cu un conținut intuitiv, străin de conținutul său abstract matematic, situație care a permis însă o anumită reprezentare sau 'înțelegere intuitivă' a acestui concept matematic deosebit de abstract, aspect deloc neglijabil.

Va fi făcută în continuare o 'sinteză' a acestor chestiuni, trecând, dincolo de aspectul intuitiv pe care s-a pus accentul mai sus, spre aspecte cu un mai accentuat caracter formal-matematic. O figură geometrică (definită ca o mulțime de puncte într-un spațiu S considerat) se poate transforma într-o altă figură geometrică prin întindere, îndoire, prin deformare în general. Dacă prin deformare nu se introduc rupturi, nu intervin (în general, în anumite condiții) tăieturi, alipiri și umpleri de cavități, atunci figurile distincte astfel obținute, se spune că au aceeași conexiune.¹⁹ Oricărei figuri (mulțimi de puncte) familiare nouă X , i se poate asocia un număr natural notat $\dim X$ și numit *dimensiunea mulțimii de puncte* X . O curbă obișnuită C , o suprafață S , un corp geometric V , pentru care avem o noțiune intuitivă a ceea ce trebuie să fie dimensiunea, au valorile la care ne așteptăm: $\dim C = 1$; $\dim S = 2$; $\dim V = 3$. Dimensiunea topologică a mulțimii X este un invariant topologic. Două mulțimi de puncte omeomorfe au aceeași dimensiune topologică. Topologic, de exemplu, o curbă C nu poate fi omeomorfă cu o suprafață S . În schimb: două mulțimi finite de puncte X și Y au aceeași dimensiune topologică: $\dim X = \dim Y = 0$; două curbe închise X și Y topologic echivalente au aceeași dimensiune topologică: $\dim X = \dim Y = 1$; două figuri plane închise X și Y topologic echivalente au aceeași dimensiune topologică: $\dim X = \dim Y = 2$; două corpuri în spațiu închise X și Y

¹⁹ Această procedură definește un 'omeomorfism' de la figura F_1 la figura F_2 .

topologic echivalente au aceeași dimensiune topologică: $\dim X = \dim Y = 3$; etc. Astfel, de exemplu, contururile următoare:



au toate aceeași dimensiune topologică $\dim X_i = 1$. Se poate generaliza această observație spunând că forma figurilor (mulțimilor) cu aceeași dimensiune topologică poate diferi extrem de mult.

Se impun câteva precizări suplimentare importante pentru chestiunile avute în vedere aici. Astfel, în măsura în care o curbă se transformă în altă curbă din ce în ce mai fragmentată și mai densă, printr-o operație de trecere la limită, ea poate deveni o suprafață (o bucată de plan). În felul acesta, se trece de la o mulțime X_0 cu $\dim X_0 = 1$, prin intermediul unor mulțimi X_i cu $\dim X_i = 1$ la o mulțime cu $\dim X = 2$. Există astfel curbe, cum este de exemplu *curba lui Peano*, care demonstrează că o linie se poate compune din aceleași puncte ca și o suprafață.²⁰ Dimensiunea topologică nu

²⁰ O construcție simplă a *curbei lui Peano* se găsește în Alain BOUTOT – *Inventarea formelor*, Editura Nemira, București, 1997, p. 276

permite caracterizarea trecerii diferențiate prin forme intermediare – și nici nu caracterizează aceste forme intermediare – în tranziția de la o mulțime cu dimensiune topologică n la o mulțime cu dimensiunea topologică $n+1$ sau $n-1$ (mai general: de la un continuum cu o dimensiune topologică la un continuum cu altă dimensiune topologică, respectiv de la un continuum la o mulțime discretă și invers). Parte din aceste aspecte vor fi exemplificate în continuare prin două construcții simple, dar riguroase sub aspect matematic: dimensiunea fractală Minkowski-Bouligand în cazul mulțimii triadice a lui Cantor și reprezentarea grafică parțială a unei curbe continue în nici un punct derivabilă: funcția Knopp-Takagi.

Nu numai în geometria fractală, dar și în teoria catastrofelor, în teoria haosului precum și în alte teorii matematice aplicabile realității fizice, considerațiile de mai sus privind raportul intuiție – concept matematic se susțin cu numeroase exemple.

Un exemplu clasic de sursă a impredictibilității în condiții deterministe

Să ilustrăm printr-un exemplu fizico-matematic clasic unul dintre aspectele legate de *imposibilitatea de principiu a soluționării fizico-matematice complete a unor probleme*. O serie de aspecte legate de problema celor trei corpuri și surse specifice ale complexității și haosului determinist au fost menționate mai sus. Legat de studiul mișcării planetelor în jurul Soarelui, a fost formulată problema teoretică a celor n -corpuri: fiind date n -corpuri, de mase m_i ($i = 1, \dots, n$), având condiții inițiale arbitrare $\mathbf{r}_i$, $\mathbf{v}_i$ și interacționând conform legii atracției universale, să se determine mișcarea sistemului (respectiv traiectoriile corpurilor). Pentru $n = 2$ – problema celor două corpuri – problema este complet rezolvată. Pentru $n \geq 3$ în condițiile generale date, mișcarea sistemului nu poate fi complet determinată. Astfel, pentru $n = 3$, legile fundamentale de conservare ale mecanicii clasice: legea conservării energiei, legea conservării impulsului și legea conservării momentului cinetic, oferă respectiv 1, plus 6, plus 3 integrale prime care sunt algebrice față de coordonatele și vitezele corpurilor. Sunt date în acest fel în total 10 zece integrale prime, în timp ce pentru

rezolvarea completă a problemei ar fi necesare 18 integrale prime.²¹ Dacă se impun însă anumite condiții particulare, problema poate fi soluționată acceptabil. Astfel, presupunând masa M a unui corp mult mai mare decât masa celorlalte două corpuri m_1 și respectiv m_2 (de exemplu, masa Soarelui în comparație cu masa celorlalte corpuri din Sistemul solar), se poate utiliza metoda perturbațiilor în rezolvarea problemei, metodă care constă în principiu în considerarea soluției cunoscute din problema celor două corpuri (problemă complet rezolvată) pentru M și m_1 și determinarea perturbațiilor produse de al treilea corp m_2 asupra elementelor orbitei relative a corpului m_1 față de M precum și a perturbațiilor din traiectoria lui m_2 în mișcarea sa față de m_1 . O astfel de problemă de interes practic este cea în care: $M = \text{Soarele}$, $m_1 = \text{Pământul}$, $m_2 = \text{Luna}$. O întrebare pe care în mod firesc o poate pune orice copil este: « De ce nu cade Luna pe Pământ? ». Pornind de la problema celor trei corpuri, au apărut primele chestiuni legate de stabilitatea și instabilitatea sistemelor dinamice.

Se observă că există posibilitatea soluționării cu o bună aproximație a problemei celor trei corpuri prin impunerea unor condiții matematice – anumite inegalități – care reflectă, sunt în corespondență, cu anumite realități fizice: masa Soarelui este mult mai mare decât masa Pământului și a Lunii. Problema însă nu e principial soluționabilă dacă ne referim la deficitul de integrale prime: 8! În contextul abordării de față, fizico-matematic, o integrală primă matematică corespunde unei legi fizice de conservare, respectiv unei simetrii spațio-temporale: uniformitatea timpului $\rightarrow$ legea conservării energiei, omogenitatea spațiului $\rightarrow$ legea conservării impulsului și izotropia spațiului $\rightarrow$ legea conservării momentului cinetic.²² Or, alte simetrii spațio-temporale (în cazul menționat) nu avem, altfel spus, din perspectiva fizicii nu avem alte legi de conservare și, deci, nici integrale prime cu

²¹ *DICTIONAR DE MECANICA* - Editura științifică și enciclopedică, București, 1980, p. 386

²² L. D. LANDAU și E. M. LIFSHIT – *Mecanica*, Editura tehnică, București, 1966

semnificație fizică. [Mai mult, H. Bruns a demonstrat că acestea sunt singurele integrale prime algebrice. H. Poincaré a demonstrat că în afara acestor integrale prime nu există altele care să fie analitice și uniforme față de aceleași argumente. P. Painlevé a stabilit că nu există integrale prime algebrice numai față de vitezele punctelor.²³]

În prelungirea celor spuse mai sus, știința contemporană se află în fața unei stări de fapt: stabilitatea sistemului solar, pentru care însă nu există încă, la nivelul cunoștințelor actuale, o explicație satisfăcătoare.²⁴ Problema stabilității Sistemului solar a fost un subiect de interes major pentru mulți matematicieni și fizicieni. Abordarea clasică s-a făcut prin tehnica dezvoltării în serii de puteri: LAPLACE (1773), LAGRANGE (1776), POISSON (1809), DIRICHLET (1858) etc. H. POINCARÉ elaborează metode matematice complet noi în soluționarea problemei (metode așa zis calitative [geometrice și topologice]) arătând că dezvoltările în serie sunt divergente.²⁵

O serie de analize teoretice și simulări numerice pe calculator, chiar pe un model de sistem solar simplificat (reduc la

²³ «Integrale prime: o ecuație în termeni finiți între coordonatele unei particule, componentele vitezei acesteia, timpul și o constantă arbitrară, oricare ar fi condițiile inițiale și care poate fi stabilită înainte de integrarea ecuațiilor de mișcare. O astfel de integrală este integrala energiei. O definiție asemănătoare subzistă și în cazul sistemelor de particule.» - Dictionar de mecanică, Editura științifică și enciclopedică, București, 1980, p. 234

²⁴ «Depuis plusieurs siècles, l'homme s'interroge sur la stabilité du système solaire, mais la formulation de ce problème a profondément évolué au cours du temps, et cette question importante pour notre représentation du monde ne se pose pas actuellement de la même manière qu'à l'époque de Ptolémée ou de Kepler.» - CHAOS et DÉTERMINISME (sous la direction de: A. Dahan DALMEDICO, J.L. CHABERT, K. CHEMLA), cap. Physique et calcul – Jacques LASKAR – *La stabilité du système solaire*, Le Seuil, Paris, 1992, p. 170.

²⁵ Ferenc SZENKOVITZ – *Contribuții la studiul metodelor topologice în problema celor două și n ($n \geq 3$) corpuri*, Teză de doctorat, Universitatea 'Babeș-Bolyai' Cluj-Napoca, 1999

doar opt planete), au condus la rezultate surprinzătoare: o eroare de numai 0,000 000 01 % asupra condițiilor inițiale ajunge de 100 % după numai o sută de milioane de ani!²⁶

Geometria fractală și raportul ordine - dezordine

« Geometria fractală este caracterizată de două opțiuni: alegerea unor probleme din sânul naturii și alegerea uneltelor din sânul matematicii. Maturizându-se progresiv, aceste două opțiuni au creat ceva nou: între domeniul haosului necontrolabil și ordinea excesivă a lui Euclid există de acum înainte o nouă zonă de ordine fractală. » - Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale. Formă, hazard și dimensiune*, Editura Nemira, București, 1998²⁷

Dimensiune fractală²⁸

Forma obiectelor din natură descriibile prin geometria euclidiană este, unanim acceptat: simplă. Aceste obiecte constituie însă excepția, 'regula' fiind dată de multitudinea și diversitatea obiectelor considerate, prin comparație, ca fiind complexe și haotice.

Apariția și succesul geometriei fractale în descrierea naturii au fost posibile numai odată cu dezvoltarea istorică a unor noi instrumente matematice specifice și odată cu valorificarea posibilităților de modelare oferite de calculator. Strânsa legătură între geometria fractală ca limbaj matematic descriptiv al naturii

²⁶ Precizări în acest sens se găsesc în articolul « *L'instabilité du système solaire* » - Rev. *Sciences et Avenir*, N°542 Avril, 1992, France, p. 51

²⁷ Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale-formă, hazard și dimensiune*, Editura Nemira, București, 1998, p. 17-18

²⁸ « *Many of the geometric structures generated by chaotic maps or differential dynamical systems are extremely complex. These sets are called fractals.* » - J. L. BAKER and J. P. GOLLUB – *Chaotic Dynamics*, Cambridge University Press, 1992, p. 111

(mai precis 'al haosului și complexității din natură) face ca în continuare să nu fie făcută o distincție tranșantă și permanentă între « mulțime (matematică) fractală » și « obiect (natural) fractal » deși, în mod riguros conceptual, o astfel de distincție poate fi făcută.²⁹ Ea nu este necesară în analiza de față întrucât nu riscă să genereze ambiguități sau confuzii.

În ce privește dimensiunea fractală, există mai multe definiții matematice ale acesteia. Vor fi menționate doar două aici: 'dimensiunea Hausdorff-Bezicovici' și 'dimensiunea Minkowski-Bouligand'. Nici una nici alta nu sunt dimensiuni matematice necesar și exclusiv întregi. Istoric, 'dimensiunea Hausdorff-Bezicovici' este introdusă într-un articol al lui Felix HAUSDORFF din 1919. Ea nu are o interpretare intuitivă simplă așa încât s-a optat aici pentru o scurtă prezentare a 'dimensiunii Minkowski-Bouligand' (1930) care are suplimentar și avantajul că este mai ușor de estimat pe baza măsurărilor experimentale.³⁰ Această ultimă dimensiune mai este numită și: 'densitate logaritmică'; 'dimensiune de entropie'; 'dimensiune de informație'; 'dimensiune

²⁹ « **Fractal:** Sens intuitiv. Se spune despre o figură geometrică sau despre un obiect natural care combină următoarele caracteristici. A) Părțile sale au aceeași formă sau structură ca și întregul, numai că la o scară diferită și putând fi ușor deformat. B) Forma sa este, fie extrem de neregulată, fie extrem de întreruptă sau fragmentată, indiferent de scara de examinare. C) Conține 'elemente distinctive' ale căror scări sunt foarte variate și acoperă o gamă foarte largă. **Mulțime fractală:** înlocuiește '*fractal*' atunci când trebuie precizat faptul că este vorba de o mulțime matematică. **Obiect fractal:** înlocuiește '*fractal*' atunci când trebuie precizat faptul că este vorba despre un obiect natural. Obiect natural care este rezonabil și util de reprezentat matematic printr-un *fractal*. » - Benoît MANDELROT – *Obiectele fractale-formă, hazard și dimensiune*, Editura Nemira, București, 1998, p. 184-186

³⁰ $d_{\text{Hausdorff}} \geq d_{\text{Minkowski (-Bouligand)}} \geq d_{\text{topologică}}$. Când obiectele sau mulțimile fractale asociate nu sunt foarte neregulate $d_H = d_M$. Pentru obiecte sau mulțimi regulate $d_H = d_M = d_{\text{topologică}}$.

de numărare a cutiilor [box-counting dimension]' sau 'dimensiune de capacitate (sau capacitară) [the capacity dimension]'.³¹

Din considerente de simplitate – întrucât geometria care se 'construiește' pe o dreaptă este mai simplă decât construcțiile în plan sau tridimensionale – și fără a afecta câtuși de puțin semnificațiile epistemologice care interesează aici, vom considera pentru început un exemplu elementar de fractal, care este "*mulțimea triadică a lui Cantor*".³² <Inițiatorul> mulțimii fractale este segmentul $[0, 1]$ de pe dreapta reală $\mathbb{R}$. <Generatorul> va fi regula după care în fiecare etapă a construcției vor fi decupate treimile centrale ale segmentelor obținute în etapa precedentă. Procedeu este foarte simplu. În final, la limită, după o infinitate de pași, se obține un anumit '*praf*'³³ Cantor'. Este o structură fină cu detalii la toate scările. La fiecare scară, fiecare submulțime este o imagine redusă a întregului (omotetie internă [proprietatea de invarianță la schimbarea de scară]). [Omotetia internă are semnificația de 'suport' pentru o regulă, pentru un 'mecanism' care generează și conservă. Omotetia internă, intuitiv matematic, va fi asociată cu autosimilaritatea, cu asemănarea, intuitiv fizic, cu principiul holografic – de exemplu, intuitiv filosofic, cu afirmația că monadele posedă omotetie internă; cu alte cuvinte, la toate scările, orice fragment (submulțime) considerat independent este o imagine aproximativă a întregului. În acest sens, nu există o scară caracteristică, mai relevantă decât alta. Sau, în alți termeni, există o invarianță la etalonare în acest sens.] Acest fractal este o mulțime

³¹ Alain BOUTOT – *Inventarea formelor* – Anexa 1 *Dimensiunile fractale*, Editura Nemira, București, 1997

³² Claude TRICOT – *Courbes et dimension fractale* - cap. *Les ensembles parfaits et leur mesure*, Springer, 1999

³³ « PRAF: colecție total discontinuă de puncte; obiect de dimensiune topologică egală cu zero. *Expunere de motive*: Pentru a denumi mulțimile de dimensiune topologică egală cu 1 sau 2, avem termeni familiari: curbă și suprafață. În același fel era necesar un termen familiar pentru a denumi obiecte de dimensiune topologică egală cu zero. » - Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale-formă, hazard și dimensiune*, Editura Nemira, București, 1998, p. 186

infinită de puncte aflate la o distanță finită unele de altele. Ea este complet discontinuă sau total neconexă. Este o mulțime perfectă: închisă și fără puncte izolate (orice vecinătate a fiecăruia dintre puncte conține o infinitate de puncte aparținând mulțimii). Nu este numărabilă fiind echivalentă cu mulțimea numerelor reale. Nu poate fi reprezentată ca reuniune a unei mulțimi de segmente infinitezimale. În comparație cu un segment de dreaptă care are o infinitate de puncte și o lungime finită, mulțimea lui Cantor are tot o infinitate de puncte, dar lungime zero.³⁴ Ea este un exemplu tipic de 'obiect fractal': este o entitate considerată în sens geometric între punct și linie (după B. Mandelbrot).³⁵ Aceste aspecte enumerate mai sus fac plauzibilă definirea unei dimensiuni superioare lui zero și inferioare lui unu pentru o astfel de mulțime. Această dimensiune nu va fi, evident, întreagă. Conceptul matematic al unei astfel de dimensiuni, *dimensiunea fractală*, va fi mai complex decât cel de dimensiune topologică asociat liniilor, suprafețelor sau volumelor.

După cum s-a spus, există mai multe modalități de a defini matematic dimensiunea fractală d_F a unei mulțimi M . Dimensiunea Minkowski-Bouligand³⁶ oferă posibilitatea unei interpretări intuitive a dimensiunii fractale în paralel cu prezentarea sa riguros matematică. Spre deosebire de dimensiunea Hausdorff-Bezicovici³⁷, dimensiunea Minkowski-Bouligand este o dimensiune 'de acoperire' a mulțimilor prin elemente (submulțimi) egale între ele – în sens geometric – la fiecare operație de acoperire dar

³⁴ Mulțimea triadică a lui Cantor are măsura Jordan nulă.

³⁵ Alain BOUTOT – *Inventarea formelor* – cap. *Aristotel reconsiderat*, Editura Nemira, București, 1997, p. 277

³⁶ J. L. BAKER and J. P. GOLLUB – *Chaotic Dynamics* – cap. *The characterization of chaotic attractors*, Cambridge University Press, 1992

³⁷ Pentru o mulțime dată A , dimensiunea Hausdorff-Bezicovici poate fi interpretată ca fiind cel mai mic număr real pozitiv pentru care se poate construi (defini) o formă volumică nenulă. Ea apelează la elemente de acoperire infinitezimală variabile.

variabile la fiecare pas. Acest element de simplitate ajută intuiția – în urmărirea construcției matematice – foarte mult.³⁸

Fie următoarea construcție matematică simplă:

n _____ N ϵ

unde: n - este numărul de pași

N - este numărul elementelor de acoperire

ϵ - este măsura elementului de bază din care se compun elementele de acoperire

Să pornim, în cel mai simplu mod, de la un segment de dreaptă de lungime L pe care, după primul pas să-l înjumătățim, să continuăm operația de înjumătățire după al doilea pas și tot așa pentru n - pași. Vom obține succesiv:

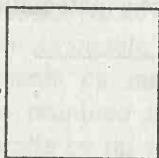
n		N	ϵ
0	(_____)	1	L
1	(_____)(_____)	$2 = 2^1$	$L/2^1$
2	(_____)(_____)(_____)(_____)	$4 = 2^2$	$L/2^2$
3	(_____)(_____)(_____)(_____)(_____)(_____)(_____)(_____)	$8 = 2^3$	$L/2^3$
.....			
n - pași		2^n	$L/2^n$

Am considerat deci, pentru început, o linie dreaptă (segment) de lungime L . Dimensiunea sa euclidiană sau topologică în sensul de mai sus este 1. Prin fragmentări egale în pași succesivi, se observă că de fiecare dată acest segment poate fi acoperit de către $N(\epsilon)$ fragmente unidimensionale de măsură (lungime) ϵ . Deci $N(\epsilon) = L \cdot (1/\epsilon)$ care se mai poate scrie: $N(\epsilon) = L^1 \cdot (1/\epsilon)^1$.

³⁸ Se impune observația că ambele dimensiuni: d_H și d_M sunt definite (au semnificație) doar în spații metrice.

Cu aceleași precizări, fie o figură bidimensională simplă:
un pătrat.

n



$N \quad \epsilon$

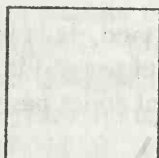
Fie un pătrat cu latura L

Deci, urmând procedeul de
mai sus se construiește
în mod succesiv:

n

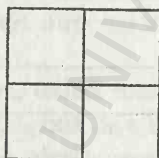
$N \quad \epsilon$

0



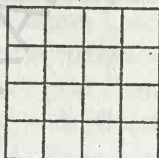
1 L

1



$$4 = 2^{2 \cdot 1} L/2^1$$

2



$$16 = 2^{2 \cdot 2} L/2^2$$

n - pași

$$2^{2n} \quad L/2^n$$

Astfel, în mod similar, pentru o figură geometrică bidimensională cum este pătratul, prin fragmentări egale în pași succesivi, se observă că de fiecare dată acest pătrat poate fi acoperit cu un număr de pătrate de arie L^2 . Deci $N(\epsilon) = L^2 \cdot (1/\epsilon)^2$ [L este aici lungimea laturii pătratului inițial.]

În mod similar se poate continua construcția și analiza cu un cub etc.

Pentru cazul general al unei dimensiuni 'd' relația este $N(\varepsilon) = L^d \cdot (1/\varepsilon)^d$ și prin logaritmare se obține: $d = \log N(\varepsilon) / [\log L + \log(1/\varepsilon)]$. Se observă că fără a restrânge generalitatea putem considera analiza pentru un L unitar, adică $L = 1$ și astfel termenul « $\log L = 0$ » și deci se neglijează. Trecând la limită pentru $\varepsilon \rightarrow 0$, dimensiunea d_M se definește astfel: $d_M = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)}$. Se observă

imediat că această limită poate fi rescrisă astfel: $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)}$ ($\varepsilon \rightarrow 0$ când $n \rightarrow \infty$ adică pentru un număr n de pași suficient de mare măsura elementului de bază ε din care se compun elementele de acoperire este suficient de mică). Calculând limitele pentru cele două cazuri de mai sus, se obțin rezultatele:

$$1.) d_M = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log 2^n}{\log 2^n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \log 2}{n \log 2} = 1 ,$$

adică tocmai dimensiunea topologică asociată segmentului de dreaptă.

$$2.) d_M = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log 2^{2n}}{\log 2^n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2n \log 2}{n \log 2} = 2 ,$$

adică tocmai dimensiunea topologică asociată pătratului.

În concluzie, s-a construit matematic posibilitatea caracterizării dimensiunii unui obiect geometric astfel încât segmentul de dreaptă să aibă dimensiunea topologică (euclidiană clasică) '1' iar pătratul să aibă dimensiunea topologică (euclidiană clasică) '2'. Această dimensiune fractală, prin convenție de limbaj « geometrică », permite, pe de o parte - în condițiile considerate geometric tradiționale - să regăsim dimensiunile firești ale figurilor geometrice tradiționale, pe de altă parte, să asociem o dimensiune 'geometric-fractală' unor figuri geometrice aparte. Este foarte importantă înțelegerea semnificației noi a dimensiunii fractale în evoluția descriptivă a aparatului matematic, pentru a putea caracteriza consistent în sens epistemologic descrierea haosului (ca formă de manifestare a dezordinii).

Din considerațiile teoretice prezentate mai sus, se poate afirma, pentru început, că dimensiunea geometrică fractală reprezintă o măsură a caracterizării acoperirii unei figuri geometrice date (o mulțime în sens general) prin intermediul numărului elementelor de acoperire, elemente care sunt reprezentate printr-un 'element de bază (L)' considerat la rândul său unitar [segment inițial de lungime 1; pătrat inițial de latură 1; cub de latură 1; etc.].

Să construim acum o primă figură geometrică « haotică »³⁹, un 'segment de dreaptă ciuruit'.

Vom obține succesiv:

n		N	ϵ
0	—————	1	1
1	——— ———	$2 = 2^1$	$1/3^1$
2	—— — — —	$4 = 2^2$	$1/3^2$
3	- - - - - - - -	$8 = 2^3$	$1/3^3$
.....			
n - pași		2^n	$1/3^n$

Acesta este praful triadic al lui Cantor (sau pulberea triadică a lui Cantor sau mulțimea triadică a lui Cantor). Să-i calculăm conform considerațiilor matematice de mai sus dimensiunea fractală.

$$d_M = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log N(\epsilon)}{\log(1/\epsilon)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log 2^n}{\log 3^n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \log 2}{n \log 3} = \frac{\log 2}{\log 3} =$$

³⁹ Astfel de exprimări sunt întâlnite în diverse monografii de specialitate. De exemplu, cu referire la geometria fractală: « [...] formele de o considerabilă complexitate și rugozitate, numite azi geometrie haotice.[...] », în GEORGESCU Adelina - Sinergetica, solitoni, fractali, haos determinist, turbulență, (Monografii matematice), Tipografia Universității din Timișoara, 1992, p. 218

0,6309...⁴⁰ adică $0 < d_M < 1$ ceea ce înseamnă că această dimensiune fractală este strict mai mare decât zero '0' și strict mai mică decât unu '1'. În construcția de mai sus se constată ușor că la fiecare pas (scară) se obțin 'componente' care sunt 'imagini' reduse ale întregului (proprietatea de <omotetie internă>). Să observăm un aspect important și anume faptul că modificând «regula de disecție»⁴¹ se obțin alte obiecte fractale cu aspect haotic 'ciuruit', obiecte (mulțimi) care vor fi caracterizate de alte dimensiuni fractale (de acest tip), dimensiuni care vor fi cuprinse întotdeauna strict între 0 și 1. Această mulțime triadică a lui Cantor face parte din clasa mai vastă a «pulberilor lui Cantor», care sunt mulțimi construite în mod similar: 'inițiatorul' este o varietate geometrică conexă finită într-un spațiu de dimensiune topologică (euclidiană) oarecare întregă; în pași succesivi n se acoperă cu N componente – aflate într-un anumit raport cu întregul și implicând înlăturarea unor submulțimi – cu dimensiunea de bază a elementelor de acoperire ε ; pentru $n \rightarrow \infty$ se obține 'pulberea Cantoriană' haotică specifică cu dimensiunea sa fractală caracteristică d_M . Dimensiunea topologică a pulberilor Cantoriene este 0, iar dimensiunea lor fractală este superioară celei topologice și fracționară.⁴² Astfel, *dimensiunea fractală a acestor pulberi este o măsură numerică caracteristică a gradului de fracționare ('ciuruire') a respectivelor 'aglomerări' punctuale.*⁴³

⁴⁰ În acest caz $d_{\text{Hausdorff}} = d_{\text{Minkowski}} (-\text{Bouligand})$ cele două tipuri de dimensiuni fractale coincid.

⁴¹ Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale-formă, hazard și dimensiune*, Editura Nemira, București, 1998, p. 67

⁴² Trebuie menționat faptul că există mulțimi care deși au dimensiunea topologică egală cu dimensiunea Hausdorff-Bezicovici sunt considerate ca fiind mulțimi fractale și, de asemenea, mulțimi cu dimensiune fractală Minkowski-Bouligand superioară celei topologice și care nu sunt considerate ca fiind mulțimi fractale.

⁴³ « [...] una din caracteristicile principale ale oricărui obiect fractal este dimensiunea sa fractală [...]. Ea măsoară gradul lui de neregularitate și de fracționare. » - Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale-formă, hazard și dimensiune*, Editura Nemira, București, 1998, p. 12

Praful triadic Cantor construit mai sus este un *fractal determinist*. Se observă că un nivel (un pas) este predeterminat de un alt nivel și determină la rândul său un alt nivel. Pornind de la acest *fractal determinist* se poate construi un *fractal aleator*: « *praful randomizat al lui Cantor* ». Introducerea elementului de hazard ('randomizarea') se poate obține prin introducerea unei arbitrarități în alegerea treimii care se suprimă în fiecare etapă și la fiecare interval rămas ('arbitraritatea generatorului'). Se poate alege la fiecare pas o împărțire în trei intervale inegale (implicit, deci, 'arbitraritatea inițiatorului' pentru etapa următoare). Singura condiție care se impune este cea de omotetie internă: raportul dintre intervalele obținute și intervalul lor de bază să fie același, indiferent care este intervalul de bază ales. În felul acesta se ajunge în final la o « pulbere Cantor » foarte neregulată, cu aglomerări de puncte distribuite aleator în intervalul de plecare $[0, 1]$. Acesta este un exemplu de fractal aleator. Același tip de fractal determinist poate da naștere la diferite tipuri de fractali aleatori. Problema care interesează este cea a felului de predeterminare a unui fractal aleator de către un fractal determinist. Un exemplu în acest sens, cu aplicații în fizică la analiza zgomotelor în transmisia de semnale, îl reprezintă un model fractal aleator care constituie o variantă aleatoare a prafului Cantor, așa numitul: « *praful lui Lévi* ». ⁴⁴

Iregularitate și dimensiune fractală ⁴⁵

Următoarea scurtă prezentare își propune să ilustreze afirmația deosebit de importantă pentru discuția de față că: *dimensiunea fractală este o măsură numerică a iregularității globale a unei curbe fractale* (aici în sensul de continuă și

⁴⁴ Detalii suplimentare în acest sens se găsesc în: Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale – formă, hazard și dimensiune*, Editura Nemira, București, 1998, cap. IV *Erorile în rafale*, § *Praf al lui Lévi, obținut pornind de la dreaptă și ciopind 'treme' la întâmplare*, p. 72

⁴⁵ Claude TRICOT – *Courbes et dimension fractale* - cap. *Quelques modèles de fonctions non dérivables*, Paris, Springer, 1999

nederivabilă).⁴⁶ Pornind de la o intuiție curentă conform căreia ‘dezordinile în profunzime’ sunt ‘mai dezordonate’ decât ‘dezordinile de suprafață’ vom conveni că mulțimile fractale cu dimensiunea fractală $d_M > 1$ sunt mai haotice decât cele cu $0 < d_M < 1$. Introducem astfel o primă modalitate de comparare graduală a figurilor geometrice haotice.

Exemplul următor reprezintă un alt tip de ‘monstru matematic’ și anume o ‘curbă patologică’ de tipul unei funcții continue în nici un punct derivabilă⁴⁷, de tip ‘drum de coastă’ sau ‘curbă de tip van Koch’.⁴⁸

Fie următorul model, unul dintre cele mai simple, de funcție continuă și nederivabilă, anume: funcția lui Knopp (sau Takagi).

Fie un parametru H , $0 < H < 1$ și $g(t)$ funcția de perioadă 1, definită pe intervalul $[0, 1]$ astfel:

$$g(t) = \begin{cases} 2t, & \text{dacă } 0 \leq t \leq \frac{1}{2} \\ 2-2t, & \text{dacă } \frac{1}{2} \leq t \leq 1 \end{cases}$$

$$\{ \text{periodicitatea: } g(0) = 0 = g(0+1) = g(1) = 0 \}$$

Funcția lui Knopp este

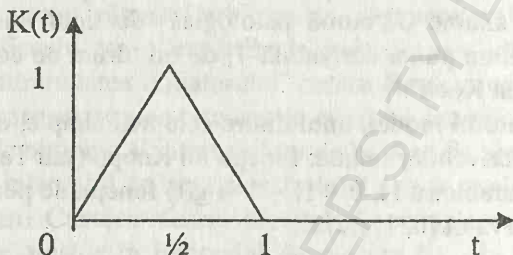
⁴⁶ « La dimension fractale [...] mesure l'irrégularité globale de la courbe. » - Claude TRICOT - *Courbes et dimension fractale*, Paris, Springer, 1999, p.168

⁴⁷ « Fără îndoială că intuiția noastră simte că absența unei tangente și lungimea infinită a curbei sunt legate de cotituri infinit mici pe care nu ni le putem imagina desenându-le. (Insist pe acest rol al intuiției, întrucât am fost întotdeauna surprins să aud spunându-se că intuiția geometrică conduce în mod inevitabil la gândul că orice funcție continuă este derivabilă). » - Benoît MANDELBROT - *Obiectele fractale*, Editura Nemira, București, 1998, p. 38

⁴⁸ Pentru detalii introductive în acest sens se poate consulta cap. II *Cât măsoară, așadar, coasta Bretnaniei?*, din lucrarea devenită clasică în domeniu: *Obiectele fractale* - Benoît MANDELBROT, Editura Nemira, București, 1998

$$K(t) = \sum_{n=0}^{\infty} 2^{-nH} g(2^n t)$$

Funcția lui Knopp $K(t)$, pentru $H = 1/2$ este $K(t) = \sum_{n=0}^{\infty} 2^{-n/2} g(2^n t)$.



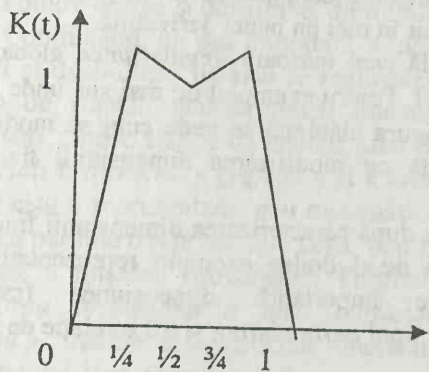
Pentru $n = 0$, $K(t) = g(t)$. Reprezentarea grafică a lui $K(t)$, în acest caz, este:

Pentru $n = 1$, $K(t)$ devine o sumă de funcții liniare: $g(t) + (\sqrt{2}/2) g(2t)$.

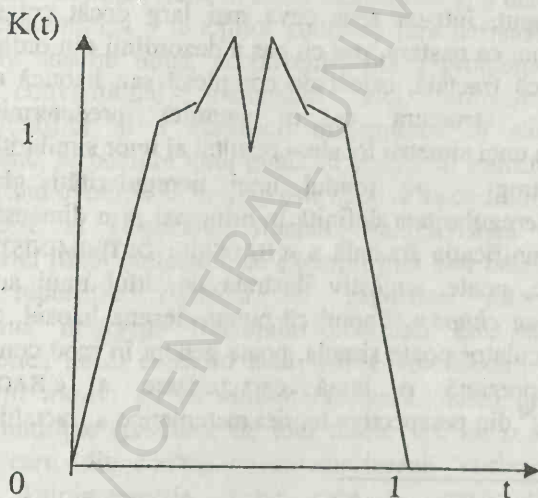
$$g(t) = \begin{cases} 2t, & \text{dacă } 0 \leq t \leq 1/2 \\ 2-2t, & \text{dacă } 1/2 \leq t \leq 1 \end{cases} \quad \text{și} \quad g(2t) = \begin{cases} 4t, & \text{dacă } 0 \leq t \leq 1/4 \\ 2-4t, & \text{dacă } 1/4 \leq t \leq 1/2 \end{cases}$$

Se observă că $g(2t)=g'(t)$ este o funcție de perioadă $1/2$ și în consecință, de exemplu, $g'(3/4) = g'(3/4 - 1/2) = g'(1/4) = 1$.

$K(t)$ fiind o sumă de funcții liniare, pentru reprezentarea sa grafică sunt suficiente doar câteva valori remarcabile: $K(0) = 0$, $K(1/4) = (1+\sqrt{2})/2$, $K(1/2) = 1$, $K(3/4) = (1+\sqrt{2})/2$ et $K(1) = 0$. Deci:



Continuând pentru $n = 2$, reprezentarea grafică a funcției $K(t)$ este:



Se observă că, pentru $n \rightarrow \infty$, fragmentarea curbei și implicit iregularitatea globală a acesteia cresc simțitor. Pentru segmentul $[0, 1]$, în primul caz $n = 0$, doar într-un singur punct nu există tangentă, pentru $n = 1$, deja în trei puncte nu există tangente, pentru $n = 2$, în

șapte puncte nu există tangente etc., pentru $n \rightarrow \infty$ funcția lui Knopp rămâne continuă, dar în nici un punct derivabilă.

Dimensiunea fractală care măsoară iregularitatea globală a curbei este: $\Delta(\Gamma) = 2 - H$. Pentru exemplul de mai sus unde $H = 1/2$ și $\Delta(\Gamma) = 1,5$. În figura alăturată se vede cum se modifică iregularitatea curbei odată cu modificarea dimensiunii fractale pentru $H = 1, \frac{3}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$.

Să formulăm acum, după caracterizarea dimensiunii fractale și prin intermediul celui de-al doilea exemplu reprezentativ, o observație deosebit de importantă: dimensiunea fractală caracterizează o relație de tipul *parte \ întreg* și NU o relație de tipul *element \ mulțime*!

În baza celor două exemple reprezentative, se va formula o caracteristică în general definitorie pentru fractali și pentru posibila lor legătură cu haosul determinist⁴⁹ înțeles aici, așa cum s-a precizat încă de la început, într-un sens ceva mai larg decât cel strict dinamic și anume: ca naștere, pas cu pas a dezordinii din ordine: o figură geometrică fractală, oricât de complexă sau haotică ar fi, disimulează în structura ei o anumită determinare, predeterminarea unei simetrii locale – rezultat al unor similarități în pași *parte ↔ întreg* – pe fondul unei neregularități globale caracteristice, neregularitate definită în principal prin dimensiunea sa fractală. Semnificația fractală a « HAOSului DETERMINIST » în acest sens este, poate, sugestiv ilustrată de titlul unui articol: « *Dessine-moi un chaos* ». Faptul că putem desena haosul, că un program pe calculator poate simula, poate genera în mod controlat dezordinea reprezintă o bună caracterizare a « HAOSului DETERMINIST »⁵⁰ din perspectiva teoriei matematice a fractalilor! O

⁴⁹ Asupra unor încercări de legătură matematică efectivă între fractali și haosul determinist, a se vedea § 5.5 *Mulțimea lui Mandelbrot. Haosul determinist conform scenariului lui Mandelbrot*, în GEORGESCU Adelina - *Sinergetica, solitoni, fractali, haos determinist, turbulență* (Monografii matematice), Tipografia Universității din Timișoara, 1992, p. 236-240

⁵⁰ În *Rev. Sciences et Avenir*, N°542 Avril, 1992, France, p. 55

mulțime fractală sau un obiect fractal sunt, astfel, un 'ceva' situat la granița dintre ordine și dezordine, dintre regulat și neregulat etc.

Continuând, un pas important în dezvoltarea legăturii dintre fractali și dezordinea haotică se realizează prin introducerea unui alt tip de fractali nedeterminiști (aleatori) și anume: *fractalii brownieni*. (Într-o tratare de detaliu, sunt prezente două 'subtipuri' de *fractalii brownieni*: « *graficul* » și « *urma* » mișcării browniene; primul este o reprezentare 'mai matematică' și deci mai abstractă, al doilea permite o reprezentare ceva 'mai fizică', mai naturală, mai familiară a mișcării browniene.) Pornind de la analogia dintre « *mișcarea browniană a unei particule* » și « *curbele fără derivată* », marele matematician american Norbert WIENER, a dezvoltat noi aspecte matematice interesante ale acestei teorii. În ce constau aici aspectele esențiale? Foarte succint spus: mișcarea browniană plană a unei particule este un model elementar, primar, de mișcare haotică; tratarea sa, în mod direct și a haosului, printr-o teorie matematică a funcțiilor continue fără derivată, reprezintă o abordare absolut nouă, neconvențională a problemelor haosului! (prin convențional înțelegând aici utilizarea calculului probabilităților și a statisticii matematice în studiul mișcării browniene, al poziției unui punct în spațiu, al traiectoriei acestuia, atunci când evoluția sa în timp este supusă hazardului). Din punctul de vedere al geometriei fractale, caracteristica interesantă a traiectoriei [unei molecule, de exemplu] nu este dată de direcția sa ci de repartiția 'zigurilor' și 'zagurilor' sale. 'Traiectoria browniană' în forma 'fractalului brownian' este mai neregulată, mai haotică decât conturul unei 'curbe von Koch', cel puțin din următorul motiv: ea se autointersectează, adică are numeroase puncte multiple (parcurse de mai multe ori, nu o singură dată), situație care, din contră, nu caracterizează 'curbele de tip von Koch'. Autointersecția curbei este o consecință directă a îmbogățirii aspectului haotic al 'drumului de coastă' prin aportul adus de o formă specifică de hazard. Prin caracterizarea 'fractalilor determiniști', a 'fractalilor aleatori', a 'curbei von Koch', a 'traiectoriei mișcării browniene' și în urma comparării lor, se trage concluzia posibilității unei distincții matematice calitativ-cantitative

între diverse niveluri sau grade de 'haotizare', devenind astfel posibilă o comparare graduală mai nuanțată a figurilor geometrice haotice și chiar a proceselor și stărilor haotice descriibile geometric. 'Mișcarea browniană' este pentru Benoît MANDELBROT un exemplu de « *hazard primar* ». Pentru Norbert WIENER, întrucât la limită, 'traectoria mișcării browniene' umple spațiul plan în mod uniform, <haosul brownian> este un exemplu de « *haos omogen* ». Complicarea prin sporirea neregularității modelelor și interesul pentru studiul acestora -dincolo de interesul pur matematic pentru cazurile generale- are la bază ipoteza că proprietățile acestora sunt mai apropiate de realitate decât cele ale modelelor simplificate. Un alt tip de generalizare a 'traectoriei mișcării browniene' este dat de 'suprafețele browniene'. Apare ca o curiozitate aici posibilitatea 'generalizării' unei *linii* atât prin *puncte* cât și printr-o *suprafață*!

Modelarea matematică a « mișcării browniene » poate urma un drum invers, cel al introducerii unor 'factori uniformizatori' în sensul transformării unei 'traectorii browniene' într-un 'drum de coastă', într-o curbă de tip van Koch. Matematic, aceste aspecte îmbracă forma unor constrângeri geometrice. Această problemă inversă poate fi considerată ca o anumită formă 'specific-inversă' de dezordine → ordine în sensul în care neregularitatea sau caracterul haotic scade, la limită fiind vorba de nașterea ordinii din dezordine. 'Relaxarea' acelorși constrângeri geometrice ar putea fi privită ca dând naștere dezordinii din ordine. S-ar putea vorbi în acest sens de haos determinist geometric ca și *constrângere geometrică*. Din punctul de vedere al modelării unor situații fizice reale, ar putea fi vorba de rolul pe care îl joacă, de exemplu, structura geologică, micro-climatul etc. -într-un sens sau altul- în determinarea caracteristicilor formelor de relief. Constrângerile geometrice ar putea fi, eventual, corelate la rândul lor cu dimensiunea fractală.

Se impune acum o altă observație: pornind de la posibilitatea abordării relației parte - întreg care se poate face la aceeași scară (nivel de organizare) sau la scări (niveluri) diferite, în cazurile în care complexitatea sau gradul de haotizare asociate unei probleme fizice

reclamă renunțarea la detalii structurale, fiind suficiente anumite caracteristici globale, analiza și descrierea fractală nu necesită apelul la niveluri structurale fundamentale, ci se poate opri în mod eficient la scara nivelului care prezintă interes. Acesta este un mare avantaj descriptiv al acestei teorii matematice. Un dezavantaj îl reprezintă faptul că un nivel 'macro' nu va putea, în acest caz, să fie **EXPLICAT** printr-un nivel 'micro' (cum, de exemplu, termodinamica poate fi interpretată cinetico-molecular). Un alt avantaj însă, în acest sens, constă în aceea că un nivel 'macro' va putea fi **DESCRIS** în mod simplu printr-un nivel 'micro' și reciproc.

Termodinamica este acel capitol al fizicii clasice care s-a ocupat de studiul stărilor și transformărilor de stare ale unor sisteme fizice considerate la scară macroscopică fără a se raporta la structura (cinetico-moleculară) acestor sisteme. Prin analogie, numeroase sisteme fizice complexe cu evoluție haotică, pot fi abordate din perspectiva unor caracteristici globale și tratate ca atare.⁵¹

⁵¹ O observație merită făcută în acest context: «Jean Perrin a fost cel care a remarcat analogia calitativă dintre mișcarea browniană a unei particule și curba fără derivată a lui Weierstrass iar Norbert Wiener a fost cel care a transformat această analogie în matematică.» - Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale*, Editura Nemira, București, 1998, p. 57

Dată fiind importanța ulterioară pentru fizica fenomenelor complexe și haotice a dezvoltării unor astfel de analogii între fizică și matematică, va fi reprodusă în continuare exprimarea deosebit de sugestivă a lui J. Perrin încă din 1913: «*Observons, par exemple, un de ces flocons blancs qu'on obtient en salant de l'eau de savon. De loin, son contour peut sembler net, mais sitôt qu'on s'approche un peu, cette netteté s'évanouit. L'œil ne réussit plus à fixer de tangente en un point: une droite qu'on serait porté à dire telle, au premier abord, paraîtra aussi bien, avec un peu plus d'attention, perpendiculaire ou oblique au contour. Si l'on prend une loupe, un microscope, l'incertitude reste aussi grande, car chaque fois qu'on augmente le grossissement, on voit apparaître des anfractuosités nouvelles, sans jamais éprouver l'impression nette et reposante que donne, par exemple, une bille d'acier poli. En sorte que, si cette bille donne une image utile de la continuité classique, notre flocon peut tout aussi logiquement suggérer la notion plus générale des fonctions*

* O astfel de caracteristică pe care convenim să o considerăm haotică (pentru sisteme geofizice, fizico-chimice, din fizica atmosferei etc.) este și neregularitatea. Să abordăm pentru exemplificare « relieful » ca sistem geofizic aflat sub influența unor factori fizico-chimici. În condiții de laborator, se pot analiza consecințele lovirii cu un ciocan a unei bucăți de rocă. Este, în general, imposibil de prezis cu precizie numărul fragmentelor de rocă rezultate, masa acestora, forma lor și alte asemenea caracteristici, deși – spre deosebire de explozia unui obuz pe traiectorie despre ale cărui forțe interne putem să nu știm nimic – în acest caz forța externă precum și o serie de alte condiții inițiale ne sunt cunoscute. Există presupuziția că în condiții naturale se întâmplă ceva asemănător numai că ‘ciocanele’ sunt mai mari: cutremure de pământ, avalanșe, valuri, vânturi, marea etc. De asemenea, se poate studia comportarea unor pământuri într-o soluție salină și presupune în mod similar comportarea unui țărm de mare în prezența apei mării. Conjugarea complexă a unor astfel de factori are consecințe majore în modelarea (evoluția) sistemelor geofizice. Orice formă de relief a fost modelată natural în lungi perioade de timp printr-un complex de influențe imposibil de precizat în detalii. Este însă posibilă explicația configurației la care s-a ajuns prin invocarea acțiunilor și proceselor fizico-chimice locale implicate: forța valurilor, salinitatea apei, variațiile de temperatură etc. Este însă imposibilă configurarea la diferite scări a detaliilor sau a ansamblurilor, numai din aceste considerații, chiar dacă se dispune de o bază informațională empirică bogată.⁵² Făcând presupuziția că același complex de factori au acționat și vor acționa în mod similar pe o anumită perioadă de timp, se pot obține retrodicții și predicții (în sensul de ‘anticipări’) descriptive. Acest

continues sans dérivées.» - Jean PERRIN – *Les atomes*, Flammarion, 1991, p. 26

⁵² «[...] legile ce guvernează la nivel local sunt cunoscute în cele mai mici detalii și ceea ce este mai puțin cunoscut este interacțiunea lor la nivel global.» - Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale* cap. Rolul hazardului, Editura Nemira, București, 1998

lucru devine însă posibil numai când se dispune de un instrument matematic adecvat. Geometria fractală este un astfel de instrument. *Dimensiunea fractală*, ca o măsură a neregularității unei curbe (suprafețe etc.) poate fi pusă, în mod firesc, în corespondență cu *complexul de factori fizico-chimici* responsabili ‘pe teren’ de forma naturală a reliefului și în acest sens se susține o analogie cu termodinamica. Trebuie însă subliniat că dimensiunea fractală este și rămâne un număr (adimensională fizic), în consecință nu-i este asociată [deocamdată!] o mărime fizică și în consecință nu poate semnifica un parametru de stare în sens termodinamic. [Există în literatura de specialitate încercări de stabilire a unei legături mai profunde între dinamica fizico-chimică și formele geometrice –prin intermediul dimensiunii fractale-; asupra acestui aspect se va reveni când va fi analizată dezvoltarea agregatelor fizico-chimice.]

Să menționăm aici un aspect mai general: unii autori utilizează pentru expresii precum ‘predictibil’ sau ‘impredictibil’ o referință numerică și prin aceasta cantitativă (*predicții cantitative*), iar pentru anticiparea unor caracteristici geometrice, o referință la nivelul forme și, în acest sens, calitativă (*predicții calitative*). Faptul că dimensiunea fractală este un număr în corespondență directă cu o anumită formă geometrică ne îndreptățește să apreciem că, cel puțin din perspectiva geometriei fractale, o astfel de distincție este o simplă opțiune terminologică.⁵³

Începând cu a doua jumătate a deceniului al IX-lea al secolului XX, au fost elaborate o serie de metode algoritmice fractale de generare și simulare (descriere) a formelor naturale de relief.⁵⁴ Valorile unor parametri matematici se iau prin analiză empirică sau se aproximează până se obțin similitudini cu

⁵³ Să observăm că unii autori fac o distincție de conținut între « predictibilitate » și « anticipare ». În ce măsură o astfel de distincție este ‘consistentă’ și nu reprezintă doar un ‘reglaj fin’ este o chestiune interesantă de investigat, pe linia unor clarificări conceptuale, însă astfel de detalii nu fac obiectul analizei de față.

⁵⁴ H.- O. PEITGEN and D. SAUPE – *The Science of Fractals Images – cap. Algorithms for random fractals*, New York, Springer, 1988

realitatea. În condițiile menționate, calculatorul reconstituie sau anticipează forma reliefului (evident este vorba în aceeași măsură și de alte fenomene: meteorologice, astronomice, fizice propriu-zise, chimice etc.). [O analiză a raportului geometrie fractală - relief terestru și a semnificației dimensiunii fractale, se găsește și în cartea lui B. Mandellbrot: « *Obiectele fractale* »⁵⁵.]

În concluzie, explicațiile științifice sunt: fizico-chimice, parțiale și locale (în sensul că sunt limitate la un domeniu spațio-temporal mărginit), pe când predicțiile – în sensul precizat mai sus, ca anticipări – sunt globale și matematic-descriptive (domeniul spațio-temporal, la limită, tinde să fie considerat nemărginit sau între anumite margini mai largi). Altfel spus, fizica dă un răspuns parțial la întrebarea: de ce relieful este așa cum este? (erodat, fragmentat etc.) pe când matematica dă răspuns la întrebarea: cum va arăta relieful? (în condiții fizico-chimice similare, dar aplicate mereu pe alte condiții inițiale adică pe un alt relief preexistent).

Modelare fractală

Se pornește de la forma geometrică a unui obiect real, care este apreciată ca fiind complexă, neregulată, haotică și se încearcă determinarea teoretică a formei prin condiții matematice impuse modelului matematic-descriptiv asociat. Cu alte cuvinte, este vorba de o încercare de a imita cât mai adecvat realitatea prin intermediul matematicii și, în general, cu ajutorul calculatorului.⁵⁶

Într-o primă fază, avem experiența; experiența permite abordarea caracteristicilor fractale ale obiectului și a dimensiunii lui fractale sugerate de măsurători experimentale. O a doua fază corespunde modelării matematice a fenomenului propriu-zis. Ea

⁵⁵ Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale* cap. *Modele ale reliefului terestru*, Editura Nemira, București, 1998.

⁵⁶ «...descrierea fractală nu trebuie să meargă până la baza structurilor fizice subiacente, ci poate să se oprească la examinarea aranjamentului mutual al diverselor părți ale unuia sau altuia dintre obiectele naturale.» Benoît MANDELBROT – *Obiectele fractale* cap. *Aranjamente ale componentelor de calculator*, Editura Nemira, București, 1998

constă în a imagina un model capabil să dea naștere unei forme al cărei aspect și dimensiune să fie comparabile, dacă nu identice, cu cele ale formei – care poate reprezenta evoluția în timp a unui fenomen – studiate experimental. Aceasta înseamnă a găsi în catalogul fractal o structură care să aibă o cât mai mare asemănare cu structura empirică. După ce este stabilită structura, calculatorul o adaptează realității concrete, prin modificarea anumitor parametri; de exemplu, a dimensiunii fractale. În general, explicațiile științifice sunt ‘locale’, anticipările sau predicțiile fiind practic, imposibil de făcut. Modelare matematică este descriptivă dar ‘globală’ astfel încât evoluția în timp a fenomenului este bine aproximată de modelul matematic respectiv. Procesul de modelare și modelul matematic descriptiv propriu-zis includ în anumite etape inserarea hazardului, a aleatorului. Ele includ însă și predeterminarea, prin anumite condiții matematice particulare impuse (de exemplu, valoarea dimensiunii fractale). Să menționăm totodată atenția deosebită ce trebuie acordată în aceste cazuri simulării numerice, pentru a nu ‘amesteca’ haosul generat și care interesează efectiv, cu un <haos-zgomot>, perturbator, și datorat exclusiv limitelor rezolvării numerice-propriu-zise.

Un domeniu al aplicării modelării matematice fractale îl reprezintă teoria dezvoltării agregatelor fizico-chimice inițiată începând cu anii 1980. Depunerile de substanțe sunt un exemplu de agregate a căror diversitate, însă, este deosebit de mare în natură. O clasă aparte o reprezintă agregatele care se formează în soluții fizico-chimice de săruri metalice sau în soluții coloidale.

Sărurile sunt substanțe care, în general, în soluție apoasă, pun în libertate ioni de metal și de radical acid conform teoriei disociației electrolitice.⁵⁷ Un anumit tip de agregate apar în sărurile metalice supuse electrolizei. Un exemplu simplu îl reprezintă o soluție de sulfat de cupru [CuSO₄] supusă electrolizei (în anumite condiții fizico-chimice, neesențiale însă pentru discuția de față). După un timp de trecere a curentului electric, se înregistrează în

⁵⁷ MICA ENCICLOPEDIÉ DE CHIMIE – Editura enciclopedică română, București, 1974, p. 426

jurul catodului o depunere metalică de cupru. Depunerea se ramifică multiplu dând o structură complexă ce poate atinge lungimea de câțiva centimetri. Explicația fizico-chimică, *locală*, a formării acestui agregat este foarte simplă: sulfatul de cupru se separă în ioni pozitivi Cu^{2+} și ioni negativi SO_4^{2-} și datorită câmpului electric existent în soluție (soluție în câmp electric) ionii pozitivi de cupru ajung la catod, se neutralizează cu doi electroni și astfel la catod se depune cupru. Alți ioni de cupru vin și ciocnesc cuprul depus, se neutralizează la rândul lor și se depun. Dacă intensitatea câmpului electric nu este prea mare, structura finală a agregatului este haotic ramificată fiind un exemplu tipic de figură geometrică fractală. Experiența repetată cu sulfat de zinc conduce de asemenea la depuneri de zinc. (Fără a intra în detalii, din măsurători experimentale ale depunerilor superficiale la catod s-au estimat dimensiunile fractale empirice pentru agregatele respective de aproximativ 1,63 [2,43 pentru depuneri volumice]).

Să menționăm, în legătură cu acest exemplu, că explicația fizică *locală* semnifică faptul că odată ce o depunere a avut loc putem să explicăm de ce a avut loc. De asemenea, este posibilă afirmația că în orice punct al suprafeței de depunere poate să aibă loc o depunere prin același mecanism fizico-chimic, fără însă să putem anticipa punctual-temporal dinamica depunerilor (un fel de 'traietorie' în timp a depunerilor spațiale) dar putem anticipa configurația lanțului depunerilor ulterioare pe o perioadă mai mare de timp. Să mai remarcăm și următorul aspect: dacă într-un punct al depunerii nu a avut loc o nouă depunere, pot exista mai multe cauze, dintre care menționăm aici două: ori respectiva regiune nu a fost ciocnită de nici un ion, ori ciocnirea a fost suficient de puternică (cu o anumită energie) și deci aproximativ elastică astfel încât ionul a ricoșat.

Un alt exemplu similar și semnificativ îl reprezintă formarea agregatelor în soluții coloidale. Coloizii sunt sisteme disperse, aparent omogene, a căror fază dispersă are particule cu dimensiuni cuprinse între 10^{-6} și 10^{-3} mm. După proprietățile lor și după mărimea particulelor, coloizii sunt sisteme intermediare soluțiilor și

suspensiilor.⁵⁸ Particulele respective pot fi considerate ca fiind în suspensie într-o soluție. Explicația fizico-chimică, *locală*, a formării agregatelor în aceste condiții este de asemenea foarte simplă: mișcarea particulelor este de tip brownian; când particulele sunt suficient de apropiate, ele sunt supuse unor forțe de atracție (de coeziune) de tip Van der Waals (cu rază foarte mică de acțiune) și se alipesc. Procesul continuă și se pot face, în mod similar, aceleași considerații de principiu ca în cazul soluțiilor de săruri metalice. (Pe cale experimentală, s-a obținut, de exemplu, pentru unii coloizi de aur dimensiunea fractală de aproximativ 1,75.⁵⁹)

Un model matematic de dezvoltare (evoluție) fractală a agregatelor este așa numitul «ALD – model de agregare cu difuzie limitată» elaborat de doi cercetători americani la începutul deceniului al IX-lea al secolului trecut.⁶⁰

Modelul plan constă în acoperirea suprafeței planului cu o rețea de pătrate care vor semnifica localizarea unei particule. Se face convenția ca o particulă care este localizată într-un pătrat să fie poziționată în centrul pătratului. Pentru simplitate (este doar un model teoretic), se consideră mișcările particulelor ca fiind paralele cu axele rețelei de acoperire. Se consideră un pătrat de referință semnificând centrul de agregare [în primul caz, de exemplu, catodul depunerilor ionilor de cupru]. Se trasează un cerc cu centrul geometric în centrul de agregare și cu raza mult mai mare decât dimensiunea considerată a particulelor. Se alege în mod arbitrar un punct pe circumferința cercului. Se consideră plasată o particulă în centrul pătratului corespunzător punctului ales. Particula se presupune că execută o mișcare browniană. Astfel, particula se va plasa aleator într-unul din pătratele vecine. Condițiile care se impun sunt următoarele: particula în deplasare aleatorie (browniană) va fi

⁵⁸ MICA ENCICLOPEDIÉ DE CHIMIE – Editura enciclopedică română, București, 1974, p. 147

⁵⁹ D. A. WEITZ and M. OLIVEIRA – *Fractal structures formed by kinetic aggregation of aqueous gold colloids*, Phys. Rev. Lett., 52, 1984

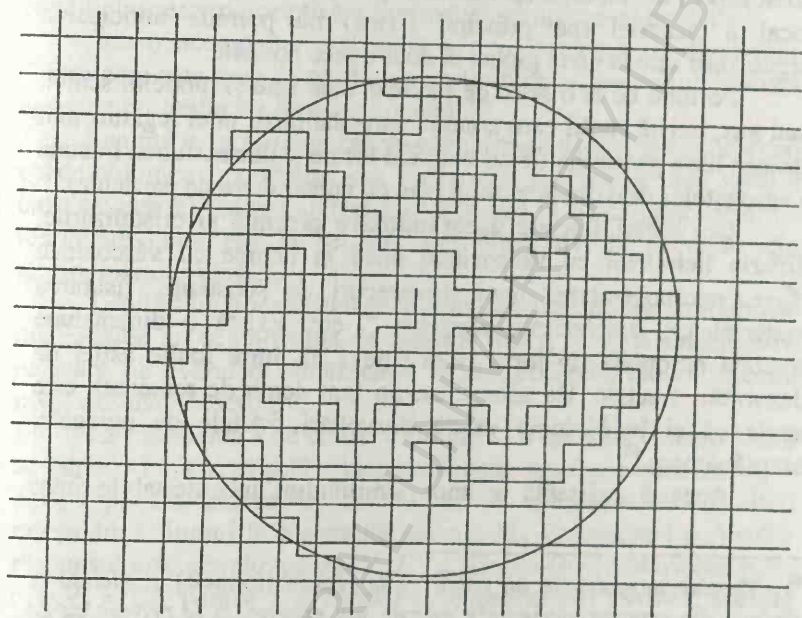
⁶⁰ Tom A. WITTEN and Leonard M. SANDER – *Diffusion-limited aggregation, a kinetic phenomenon*, Phys. Rev. Lett., 47, 1981

abandonată dacă va ajunge într-un pătrat exterior cercului și va fi imobilizată dacă va ajunge într-un pătrat vecin cu pătratul origine. Se repetă operația cu condiția că particulele se imobilizează de îndată ce sunt plasate într-un pătrat vecin cu cel al unei particule deja imobilizate. Lăsând calculatorul să modeleze dezvoltarea unei astfel de structuri fractale pentru un număr de particule de ordinul cel puțin al sutelor de mii (situație apropiată de cea din realitate) se obțin dezvoltări surprinzător de asemănătoare cu cele din realitate și a căror dimensiune fractală teoretică, evaluată prin metoda Minkowski-Bouligand descrisă mai sus, concordă foarte bine cu dimensiunea fractală evaluată experimental prin aceeași metodă. (Valoarea dimensiunii fractale nu depinde de raza cercului de pornire și nici de natura 'cutiilor [pătrate, cercuri, triunghiuri, hexagoane etc.]' luate inițial în considerație.) Metoda se extinde cu aceleași rezultate teoretice remarcabile pentru complexe de agregate, caracteristice mai ales mediilor coloidale. Modelul, aproximând realitatea, este elaborat pe baza unei presupuziții simplificatoare prealabile: fenomenul de alipire este ireversibil.⁶¹ Aportul calculatorului în succesul acestui model este esențial: pentru a face o deplasare aleatorie a unui punct trebuie generat un număr aleator ori un calculator modern face această alegere în milionimi de secundă. Astfel, un calculator poate simula în timp real dezvoltarea unui agregat cu milioane de componente (fiecare urmând un parcurs aleator). Să observăm că, deși, principal, bazat pe simplitatea fizică a fenomenelor locale, evoluția stării sistemului

⁶¹ O expunere a acestui model: «*Le processus de collage de particules sur amas le plus élémentaire est celui dit d'agrégation limitée par la diffusion*». se găsește și în cap. *La condensation des poussières* - Bernard SAPOVAL - *Universalités et fractales*, Flammarion-Nouvelle Bibliothèque Scientifique, Paris, 1997 Obs.: Bernard SAPOVAL este fizician, a fost Director de cercetare la CNRS și Președinte al departamentului de fizica stărilor condensate; din anii 1980 se ocupă de cercetări speciale în domeniul fizicii fractale și al sistemelor neregulate. Lucrarea sa invocată aici '*Universalités et fractales*' este elogios prefățată de unul din principalii matematicieni creatori ai geometriei fractale: Benoît MANDELROT și a fost premiată în Franța.

ar fi predictibilă, practic, în absența posibilităților de calcul, elementar și el, oferite de calculator, o asemenea complexitate cum este dezvoltarea agregatului menționat va fi impredictibilă.

Schema de principiu a unui astfel de model este sugerată de următorul desen:



Ceea ce trebuie subliniat în legătură cu modelarea fractală prezentată mai sus este concordanța între dimensiunea fractală estimată empiric și cea estimată teoretic în mod independent, doar pe baza modelului propus.

Explicația fizică intervine doar local pentru a explica 'imobilizarea' particulelor. Aspectul global semnificând evoluția în timp (dezvoltarea, creșterea) a agregatului și deci implicit predicția structurilor sau stărilor sale ulterioare, este la nivel descriptiv-matematic. Din cunoașterea chiar precisă a factorilor fizici locali precum și a condițiilor globale de mediu în care aceștia se manifestă nu derivă posibilitatea anticipării evoluției agregatului. Forma globală nu poate fi dedusă din acțiunea locală a factorilor

fizici. Nu există, în acest caz, posibilitatea integrării efective într-o dinamică globală a acțiunii locale a factorilor fizici specifici. Forma și dinamica agregatului este independentă, autonomă față de condițiile fizice interne care îi dau naștere. În teoriile morfologice, acest aspect are un caracter mult mai general.⁶² Organizarea la nivel local a materiei (pe principii fizice) nu permite anticiparea organizării sale la nivel global ci doar o face posibilă.

Pornind de la o serie de modele, cum este și modelul schițat mai sus, există studii care conduc spre stabilirea unei legături mai strânse între procesele fizico-chimice locale și dimensiunea fractală a agregatelor dezvoltate în timp (sau cu număr mare de particule).⁶³

Dezvoltări fractale asemănătoare prezintă și cristalizările, difuzia lichidelor cu vâscozitate mică în lichide cu vâscozitate mare, neomogenitatea unor amestecuri de substanțe, fisurarea materialelor, descărcările electrice⁶⁴ etc. Există o dimensiune fractală apropiată - în jurul valorii de 1,70 - între multe astfel de dezvoltări fractale. De asemenea, un fapt demn de remarcat, este acela că și în biologie există dezvoltări fractale de agregate, asemănătoare.⁶⁵

Această existență a unor similitudini incontestabile între

⁶² «Teoriile morfologice nu caută să le reducă [formele] și nici să le deducă din procese elementare interne sau externe, ci le privesc ca pe niște realități autonome, independente de natura forțelor care le-au dat naștere.» - Alain BOUTOT - *Inventarea formelor* [§ Principiul independenței formei în raport cu substratul], Editura Nemira, București, 1997, p. 63

⁶³ R. JULLIEN et M. KOLB - *Les Agrégats*, La Recherche, 16, 1985

⁶⁴ L. NIEMEYER, L. PIETRONERO, H. J. WIESMAN - *Fractal dimension of dielectric breakdown*, Phys. Rev. Lett., 52, 1984

⁶⁵ «Ces géométries sont construites par des croissances 'numériques' effectuées par un ordinateur et sont faites avec des constituants qui sont des points sur un réseau. Le fait qu'elles décrivent des réalités expérimentales dans des domaines aussi différents que la physique, la chimie ou la biologie est une indication de leur universalité.» - Bernard SAPOVAL - *Universalités et fractales*, Flammarion-N. B. S., Paris, 1997, p. 126

dezvoltări fractale naturale dintre cele mai diverse (din punct de vedere ontologic, cauze diferite conduc la efecte asemănătoare) și între aceste dezvoltări naturale și cele numerice bazate pe un model matematic, reprezintă cu adevărat elemente importante de referință într-o analiză epistemologică a relației dintre matematică –ca și condiție necesar descriptivă a explicației științifice- și realitate.

Într-o accepțiune mai largă a complexității: ca diversitate pentru care este greu de găsit un numitor comun, geometria fractală apare ca un 'reductor de complexitate'.⁶⁶

Înainte de a formula câteva considerații asupra unei chestiuni epistemologice importante, cea a relevării premiselor care stau la baza asimetriei dintre explicație și predicție în fizica unor astfel de fenomene complexe și haotice, este ilustrativ un exemplu din termodinamica clasică.

Legile funcționale sunt relații matematice în care simbolurile matematice au semnificația de mărimi fizice, relațiile matematice ca atare ne având o semnificație fizică profundă, dincolo de un nivel exclusiv descriptiv.

La întrebarea « de ce are volumul V_n o anumită valoare (când se cunosc P_o, V_o , și p_n)? » răspunsul este simplu: pentru că $V_n = p_o V_o / p_n$. La întrebarea « ce valoare va avea presiunea p_n dacă micșorăm volumul la o anumită valoare V_n (cunoscând p_o, V_o)? » răspunsul este simplu: $p_n = p_o V_o / V_n$. [Legea Boyle-Mariotte: $p_o V_o = p_n V_n = C$, pentru $T = \text{constantă}$; exprimată în cuvinte, această lege spune că dacă temperatura unui gaz ideal aflat într-o incintă se menține constantă, atunci produsul dintre presiunea gazului și volumul acestuia, rămâne constant.] Trebuie făcută aici următoarea observație: fiind familiarizați cu structura cinetico-moleculară a materiei, există spontan tendința de a asocia lecturii matematice a relațiilor explicația fizică de profunzime ce decurge din această structură. Inițial însă, la descoperire, legea transformării izoterme a fost exclusiv funcțională și descriptivă și așa și rămâne în cadrul

⁶⁶ «Les concepts de géométrie fractale et ceux de dimension fractale apparaîtront comme des 'réducteurs' de complexité.» - Bernard SAPOVAL – *Universalités et fractales*, Flammarion-N. B. S., Paris, 1997, p. 28

termodinamicii.

Sunt de făcut mai multe observații în acest caz. Gazele, ca de alt fel orice sistem termodinamic, sunt ansambluri de foarte multe elemente. Pentru o masă dată de gaz, legea transformării izoterme este independentă de natura gazului (hidrogen, oxigen, azot, gaze rare etc., amestecuri de gaze). Gazelor le este asociată o constantă universală. Toate gazele sunt modelate într-o primă aproximație prin așa numitul 'model al gazului ideal' unde elementele sunt simbolizate prin puncte materiale, mișcarea este browniană, iar interacțiunile sunt locale, reprezentate prin ciocniri. Și în cazul modelului ALD de mai sus, există o aproximație punctuală a elementelor, mișcarea este browniană, iar interacțiunile sunt locale (electrice, de tip Van der Waals etc.) și există o constantă matematică –dimensiunea fractală- cvasi-universală.⁶⁷

Această analogie (există multe alte exemple în fizică) face să fie clară următoarea afirmație importantă, care, foarte pe scurt spus, se constituie și în premisă majoră a asimetriei dintre explicație și predicție pentru fenomene de natura celor menționate mai sus: există anumite sisteme fizice (fizico-chimice, geofizice, biofizice etc.) care au proprietăți și evoluție relativ independente de natura particulară și interacțiunile particulare-locale ale subsistemelor componente.⁶⁸ Având doar condiții locale și o independență a ansamblului față de acestea, putem doar să explicăm ceea ce s-a petrecut (sau poate să se petreacă) local de fiecare dată, fără însă a putea prevedea din aceste considerente cum se vor desfășura

⁶⁷ «Toate aceste structuri[...]au aproximativ aceeași dimensiune fractală ceea ce ne-ar putea duce cu gândul la un anume gen de universalitate a respectivei valori.» - Alain BOUTOT – *Inventarea formelor*, Editura Nemira, București, 1997, p. 203

⁶⁸ În acest sens, fizicianul francez B. Sapoval (specialist în fizica fractalilor și a sistemelor neregulate) afirma: «[...] le sens nouveau du mot 'universalité', sur lequel nous voulons insister, est: certaines systèmes possèdent des propriétés indépendantes de la nature microscopique de ces systèmes.» și respectiv «[en utilisant la notion de fractale] Ici universalité se traduira par 'même dimension fractale'.» - Bernard SAPOVAL – *Universalités et fractales*, Flammarion-N. B. S., Paris, 1997, p. 39 și 48

punctual în timp și-n spațiu, lucrurile. Nivelul *global-descriptiv spatio-temporal* -în sensul de perioade lungi de timp în raport cu dinamica locală a fenomenului și spații extinse în raport cu traiectoria sau acoperirile spațiale locale în evoluția fenomenului- este accesibil prin intermediul relaționării teoriilor științifice specifice cu instrumentele matematice asociate. Anticipările nu sunt construcții libere, fanteziste, ci sunt anticipări raționale, fizico-matematice, care, concordă în bună măsură cu datele empirice!

Un alt aspect important îl reprezintă raportul dintre elementul aleator introdus (care 'acționează' aproape permanent -cu excepția alipirii punctelor) și posibilitățile care se realizează de fiecare dată din mulțimea apriori infinită de posibilități de configurare (de fapt este o mulțime finită dar cu un ordin de mărime enorm). Cu mici variațiuni, configurația după o perioadă mai mare de timp (corespunzând alipirii unui număr mare de particule) este întotdeauna aceeași! În dinamica sa, sistemul pare să tindă (în plan) spre o aceeași curbă fractală.

Dar, spre curba fractală 'limită', se poate tinde în mai multe feluri. De exemplu, se dezvoltă mai întâi cvasi-complet un braț lung și apoi se dezvoltă celelalte. Însă, aspect foarte interesant al momentelor (etapelor intermediare) în *evoluția dinamică* a sistemului, observat atât experimental cât și în urma modelării teoretice pe calculator, sistemul evoluează și 'semi-global' (pe <intervale de timp și regiuni spațiale> intermediare) în aproximativ același fel! Acest aspect evolutiv intermediar, depunerea particulelor sau 'alipirea punctelor' în diferite intervale de timp, pe parcursul dezvoltării agregatului, se face aproximativ circular în jurul centrului de referință, brațele dezvoltându-se oarecum simultan prin depuneri (alipiri de puncte) la periferia agregatului din acel moment.⁶⁹ Pe de altă parte, deși teoretic nimic nu împiedică particulele să se depună în interior de o manieră, de exemplu, în care ar putea să 'umple agregatul', să-l compactizeze, aceasta nu se întâmplă totuși nici în realitate, nici în simularea numerică! Acest fenomen se numește *mascarea de către*

⁶⁹ Bernard SAPOVAL – *Universalités et fractales* cap. *Les distributions multifractales* – ilustrația 1, p. 161 Flammarion-N. B. S., Paris, 1997

extremități.⁷⁰ O justificare ar fi aceea că extremitățile sunt mai expuse atingerilor decât părțile interioare. Faptul că acest detaliu pare să aibă o importanță sporită față de cea aparentă inițial, reclamă o analiză mai atentă a posibilităților sale semnificații fizico-matematice. Sistemul se comportă în evoluția sa ca și cum ar exista o condiționare (fizică) care-i selectează o anumită succesiune de stări din foarte multe alte succesiuni posibile teoretic.⁷¹

Trebuie făcută observația că între dezvoltările fractale ale agregatelor menționate nu este o identitate, ci doar o asemănare foarte puternică. Ceea ce trebuie subliniat se referă la faptul că dimensiunea fractală a lor este cu foarte bună aproximație aceeași. Dimensiunea fractală este factorul esențial în realizarea anticipării dinamicii dezvoltării fractale.

Accesteste aspecte remarcabile ale legăturii matematicii cu realitatea îndreptățesc o analiză mai atentă a unei posibile semnificații fizice profunde a unor concepte matematice cum este și cel de dimensiune fractală, dezvoltat aici.⁷²

În ce privește asimetria explicație-predicție, exemplul ales prilejuiește o serie de alte considerații importante asupra premiselor unei atari asimetrii. Să presupunem că s-au depus în agregat un număr de particule (puncte) de ordinul milioane. Să presupunem (îndreptățit) că experiențele efective și simulările numerice au condus la aceeași curbă fractală complexă. Mai sus au fost făcute considerații

⁷⁰ «Il y a phénomène de masquage par les extrémités qui empêche les particules libérées à l'extérieur de pénétrer au cours de leur marche aléatoire à l'intérieur de cet objet compliqué. En réalité, rien ne leur interdit de pénétrer[...]» Bernard SAPOVAL – *Universalités et fractales*, Flammarion- N. B. S., Paris, 1997, p. 127

⁷¹ «Alors qu'aucune force ne s'exerce sur les particules qui assurent la croissance, tout se passe comme s'il existait une force qui empêche les particules de pénétrer. Bernard SAPOVAL – *Universalités et fractales*, Flammarion- N. B. S., Paris, 1997, p. 128

⁷² «[...] existența computerelor a condus la multe rezultate numerice interesante, cu tot atâtea interpretări intuitive, care însă necesită o îndelungată analiză pentru a se ajunge la extragerea ideilor relevante.» - Martin G. GUTZWILLER – *Haosul în mecanica clasică și cuantică*, Editura tehnică, București, 1998, p. 5

asupra dinamicii sistemului în diverse etape ale sale. Trebuie remarcat însă următorul fapt: chiar dacă în final (timpul corespunzător depunerii unui număr mare de particule) avem aceeași curbă fractală – cu aceeași dimensiune fractală – și cu aceeași evoluție raportată la intervale-
‘culori’ temporale, de fapt, nu există o singură evoluție spre aceasta ci o clasă finită (chiar foarte mare) de evoluții – prin intermediul unor evoluții locale – posibile. Depunerile, deși circulare și prin fenomenul de mascare de către extremități, pot începe cu constituirea oricărui braț. Un braț se poate dezvolta prin depuneri alternative stânga-dreapta, respectiv sus-jos. Aceasta înseamnă că există o succesiune de mai multe istorii ‘mărunte’ sau locale, alternative pentru configurația finală de ansamblu a sistemului. Când spunem că un gaz își menține temperatura constantă, acest lucru se întâmplă pentru un număr foarte mare de micro-stări mecanice locale posibile ale sale. Cu alte cuvinte, unor anumite valori precizate ale parametrilor macroscopici de stare ai unui sistem termodinamic, le corespund mai multe microstări locale posibile ale subsistemelor componente. Situația este similară în dinamica dezvoltării agregatelor. Urmărind – prin diverse metode – istoria în detaliu a creșterii unui agregat într-o experiență, odată ce acesta s-a constituit putem să facem toate (aproape) precizările necesare cu privire la dinamica sa. Repetând experiența, deși condițiile de pornire (inițiale) sunt aceleași, deși ‘finalul’ este același, totuși nu se pot anticipa detaliile sau evoluția locală a dezvoltării (dinamica) agregatului.

Cazul analizat este ilustrativ pentru o teorie matematică – geometria fractală – ca teorie fizico-matematică a dinamicii haotice a procesului morfogenezei unor forme fizice complexe.⁷³

În relaționarea întregului cu părțile sale în general, și în fizică în particular, sunt disponibile două opțiuni: o modelare de tip reduționist, constând în încercarea de a descrie și explica proprietățile întregului prin structuri, regularități și neregularități care

⁷³ «Studiile întreprinse de către matematicieni și fizicieni, în diferite domenii independente, au permis elaborarea unor noi metode, capabile să explice și, într-o anumită măsură, să prevadă apariția formelor (morfologiilor) pe care le întâlnim.» - Alain BOUTOT – *Inventarea formelor* – Editura Nemira, București, 1997, p. 8

se manifestă pe scări (niveluri) mai elementare și o modelare de tip holist, constând în încercarea de a descrie și explica proprietățile întregului numai prin structuri, regularității și neregularități de pe aceeași scară (nivel). În acest sens geometria fractală este o perspectivă holist-descriptivă a ansamblurilor fractale.

Se observă că, din perspectiva structurii clasice a explicației științifice prin legi de acoperire, în aceste cazuri, există o disproporție între explanans: având un 'conținut' relativ simplu [de exemplu, două (sau mai multe) particule interacționând cu forțe cu rază scurtă de acțiune (ceea ce face ca să nu mai existe complicațiile din problema celor n corpuri în interacțiune gravitațională)] și explanandum: vizând o dinamică haotică cu o finalitate complexă [sisteme cu număr de particule variabil, având la dispoziție, ca posibilități de dezvoltare, tot spațiul]. Referirea la procesele fizice locale are o dimensiune explicativă pe când dinamica sistemului finalizată într-o 'formă' globală are o dimensiune descriptivă.

Încheiere

Contrar spiritului dominant al fizicii moderne, laureatul premiului nobel pentru fizică Philip ANDERSON afirma într-unul din articolele sale: *«Capacitatea de a reduce totul la legi fundamentale simple nu implică și posibilitatea ca pornind de la aceste legi să reconstruim universul.»*⁷⁴

⁷⁴ Citat preluat după Bernard SAPOVAL – *Universalités et fractales*, Flammarion- N. B. S., Paris, 1997, p. 47

BIBLIOGRAFIE

1. Joseph C. PITT - **Theories of explanation**, Oxford University Press, 1988
2. Wesley C. SALMON - **'Scientific Explanation and the Causal Structure of the World'**, Princeton University Press, 1984
3. P. M. QUARY - **A philosophical explanation of the explanatory functions of ergodic theory**, în *Philosophy of Science*, 1978
4. Mark A. STONE - **Chaos, prediction and Laplacean determinism**, *American Philosophical Quarterly*, Volume 26, Number 2, April 1989
5. **L'explications dans les sciences** - Colloque de l'Académie Internationale de Philosophie des Sciences, Flammarion, Paris, 1973
6. **Logique et connaissance scientifique** (sous la direction de Jean PIAGET) - *Encyclopédie de la Pléiade* -, Editions Gallimard, 1967
7. **Teoria cunoașterii științifice** - Editura Academiei R. S. R., București, 1982
8. Mircea FLONTA - **Imagini ale științei**, Editura Academiei Române, București, 1994
9. Ilie PÂRVU - **Introducere în epistemologie**, Editura Polirom, Iași, 1998
10. L. D. LANDAU și E. M. LIFSIT - **Mecanica**, Editura tehnică, București, 1966
11. V. I. ARNOLD - **Metodele matematice ale mecanicii clasice**, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1980
12. P. L. KAPIȚA - **Probleme de fizică**, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1986
13. Richard P. FEYNMAN - **Fizica modernă**, vol. III. *Mecanica cuantică*, cap. *Comportarea cuantică*, Editura tehnică, București, 1970,
14. Anatolie HRISTEV - **Mecanică și acustică**, Editura didactică și pedagogică, București, 1982
15. Karl R. POPPER - **Objective Knowledge - An Evolutionary Approach**, Oxford at the Clarendon Press, 1973
16. Cf. E. NAGEL - **The structure of Science**, New-York, 1961
17. Karl PEARSON - **The Grammar of Science**, 1911
18. Richard RUDNER - **Philosophy of Science**, New-Jersey, 1966
19. Armand CUVILLIER - **Nouveau précis de philosophie**, vol. I, Paris, 1963

20. K. R. POPPER – Adevăr, raționalitate și progresul cunoașterii științifice, în 'Logica științei', Editura politică, București, 1970
21. Abdus S. SALAM – Știința bun al întregii omeniri, Editura politică, București, 1985
22. John LOSEE – A Historical Introduction to the Philosophy of Science, cap. 7: *The Seventeenth-Century Attack on Aristotelian Philosophy (Galileo; Francis Bacon; Descartes)*, Oxford University Press, 1980
23. Jeanne PARAIN-VIAL – Philosophie des sciences de la nature – Tendances nouvelles -*Les théories métaphysiques des savants – quelques exemples*, Klincksieck, Paris, 1983
24. Richard P. FEYNMAN – La nature de la physique, § 2: *Le lien des mathématiques avec la physique*; § 5: *La distinction entre le passé et le futur*, Editions du Seuil, 1980
25. Jean-Pierre VERDET – Une histoire de l'astronomie, Editions du Seuil, Paris, 1990
26. Benoît MANDELBROT – Obiectele fractale – formă, hazard și dimensiune, Editura Nemira, București, 1998
27. Keneth FALCONER - Fractale Geometry, Mathematical Foundations and Applications, Wiley and Sons, New York, 1989
28. Bernard SAPOVAL – Universalités et Fractales, Flammarion, 1997
29. James GLEICK - Chaos - Making a new science, Viking, New - York, 1988
30. J. L. BAKER and J. P. GOLLUB – Chaotic Dynamics, Cambridge University Press, 1992
31. Claude TRICOT – Courbes et dimension fractale, Paris, Springer, 1999
32. R. JULLIEN, R. BOTEL & M. COLB - "Les Agrégats", La Recherche, 16, 1985
33. BUNDE et S. HAVLIN – Fractals and disordered Systems, Springer-Verlang, 1996
34. J. FEDER – Fractals, Plenum Press, New-York, 1988
35. H.- O. PEITGEN and D. SAUPE – The Science of Fractals Images, New York, Springer, 1988
36. Gerald A. EDGAR – Measure, Topology and Fractal Geometry, Springer-Verlang, 1990
37. Alain BOUTOT – Inventarea formelor, Editura Nemira, București, 1997

38. Martin C. GUTZWILLER – **Haosul în mecanica clasică și cuantică**, Editura tehnică, București, 1998
 39. James T. CUSHING – **Concepte filosofice în fizică**, Editura tehnică, București, 2000
 40. John EARMAN – **A Primer on Determinism**, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht - Holland, 1986
 41. Ralph H. ABRAHAM & Cristopher D. SHAW – **Dynamics – The geometry of behavior** (*The Visual Mathematics Library*), Aerial Press Inc., Santa Cruz – California, 1985
- Sous la direction de: A. Dahan DALMEDICO, J.L. CHABERT, K. CHEMLA:
42. **CHAOS et DÉTERMINISME**, Le Seuil, Paris, 1992:
 43. Adrien DOUADY - **Déterminisme et indéterminisme dans un modèle mathématique** [mathématicien]
 44. Jean Cristophe YOCOZ - **Idées géométriques en systèmes dynamiques** [mathématicien]
 45. Pierre ARNOUX et Karine CHEMLA - **Systèmes dynamiques et théorie ergodique** [mathématicien] [historien des sciences]
 46. Yakov G. SINAI - **L'aléatoire du non - aléatoire** [mathématicien]
 47. Jean - Pierre ECKMANN - **Mesures dans un système dynamique** [mathématicien] et [physicien] chaotique
 48. Pierre BERGÉ et Monique DUBOIS - **Chaos déterministe expérimental et attracteurs étranges** [physicien] [physicien]
 49. Jacques LASKAR - **La stabilité du système solaire** [astronome]
 50. Marie FARGE - **Evolution des théories sur la turbulence développée** [physicien]
 51. Giorgio ISRAËL - **L'histoire du principe du déterminisme et ses rencontres avec les mathématiques** [historien des sciences]
 52. Amy Dahan DALMEDICO - **Le déterminisme de Pierre - Simon LAPLACE et le déterminisme aujourd'hui** [historien des sciences]
 53. Ilya PRIGOGINE, Grégoire NICOLIS - **Exploring complexity**, 1989
 54. Ivar EKELAND – **Le calcul, l'Imprévu**, Le Seuil, 1984
 55. Ivar EKELAND – **Au hasard**, Le Seuil, 1991
 56. Ilya PRIGOGINE, Grégoire NICOLIS - **Self - Organization in Nonequilibrium Systems**, Wiley & Sons, New York, 1977

57. David RUELLE – **Hasard et chaos**, Éditions Odile Jacob, 1991, Paris
58. H. POINCARÉ – **La Science et l'Hypothèse**, Flammarion, 1968
59. SCIENCES et AVENIR – **Chaos. Les lois du désordre**, N° 542, Avril 1992
60. René THOM – **Prédire n'est pas expliquer**, Flammarion, 1983
61. Ian STEWART – **Dieu joue-t-il aux dés?- Les nouvelles mathématiques du chaos**, Flammarion, 1992
62. Roger LEWIN – **La complexité**, InterÉditions, Paris, 1994
63. V. I. ARNOLD – **Catastrophe Theory**, Springer-Verlang, Berlin, 1986
64. Steven WEINBERG – **Primele trei minute ale Universului**, Editura politică, București
65. John D. BARROW – **Originea universului**, Editura Humanitas, București, 1994
66. Stephen W. HAWKING – **Scurtă istorie a timpului**, Editura Humanitas, București, 1995
67. Henri POINCARÉ – **Dernières pensées**, Flammarion, Paris, 1963 (reed. Ed. 1913)
68. Jean PERRIN – **Les atomes**, Flammarion, 1991
69. W. G. CHINN și N. E. STEENROD – **Introducere în topologie**, Editura Tehnică, București, 1981
70. Ferenc SZENKOVITZ – **Contribuții la studiul metodelor topologice în problema celor două și n ($n \geq 3$) corpuri**, Teză de doctorat, Universitatea 'Babeș-Bolyai' Cluj-Napoca, 1999
71. GEORGESCU Adelina – **Sinergetica, solitoni, fractali, haos determinist, turbulență** (Monografii matematice), Tipografia Universității din Timișoara, 1992

Complexitatea problematică a *IF* logics

Virgil Drăghici

Domeniul logico-matematic, aidoma altor compartimente ale creației umane, a cunoscut firește discontinuități, în care sincopelile sunt succedate de înnoiri conceptuale majore. O astfel de mutație conceptuală survine la sfârșitul secolului al XIX-lea și în primele decenii ale secolului al XX-lea prin creația remarcabilă a lui Frege, Russell, Hilbert, Bernays și Brouwer. Acești gânditori pun bazele a ceea ce astăzi numim curente fundamentale, la care într-un fel sau altul ne raportăm de fiecare dată când dezbatem problema logico-matematică și filosofică a întemeierii. Acestor investigații li se adaugă celebrele teoreme ale lui Gödel, cea de completitudine a calculului predicatelor de ordinul întâi (1930)¹ și cele de incompletitudine (1931)² și studiul lui Tarski privitor la adevăr.³

Acest context teoretic este susținut sub raport logic de asumția că logica noastră uzuală, în orice demers asertoric-constructiv, este *logica de ordinul întâi*, fie cea clasică fie cea intuționistă. Deceniile 6, 7, și 8 vor include însă în analiză fapte logice anomalii în raport cu cadrul teoretic deja constituit al logicii (e.g. cuantificarea ramificată), precum și construcții asertorice ale limbajelor naturale care nu se conformează schemei tarskiene a adevărului. Aprofundarea lor va conduce la o nouă cotitură conceptuală în care paradigma originarității logicii cla-

¹Cf. Gödel [1]

²Cf. Gödel [2]

³Cf. Tarski [1]

sice de ordinul întâi și conceptele pe care ea le antrenează sunt puse sub semnul întrebării.

Studiul de față investighează tocmai o astfel de alternativă conceptuală, cunoscută sub numele de *independence friendly logic* (IFL)⁴, prin situarea ei opozitivă în raport cu logica uzuală de ordinul întâi.

1 Ce este o logică (clasică) de ordinul întâi

Logica uzuală de ordinul întâi (LO1), numită și *calculul predicatelor de ordinul întâi*⁵ sau *teoria cuantificării*⁶, este înțeleasă ca o structură teoretică abstractă în care cuantificatorii leagă doar variabile individuale. Nu ne propunem aici investigarea riguroasă a unui astfel de concept și nici corectitudinea aserțiunii de mai sus; pentru scopul pe care ni l-am propus este suficientă explicitarea unui asemenea înțeles printr-o construcție adecvată și analiza succintă a proprietăților unei astfel de construcții, proprietăți care o fac *remarcabilă* în sensul evidențiat.

a) Sintaxa limbajelor de ordinul întâi ($\mathcal{L}_1$)

Construcția sintactică a $\mathcal{L}_1$ presupune, firește, o listă nevidă de *simboluri* (S), numită și alfabetul limbajului considerat. Orice combinație *finită* de astfel de simboluri din S se numește *string* (șir) peste S . Lungimea unui string σ este strict determinată de numărul total al simbolurilor din σ . Fie S_σ mulțimea tuturor stringurilor peste S .

O mulțime arbitrară M se numește *infiniț enumerabilă* dacă există o reprezentare surjectivă s a mulțimii numerelor naturale în M , i.e. $s : \mathbb{N} \rightarrow M$, sau, echivalent, o reprezentare injectivă

⁴comp. Hintikka [1] și [2]; Hintikka și Kulas [1]

⁵comp. Kleene [1], [2]

⁶comp. Smullyan [1], 43

$i : M \rightarrow N$ ($N = \{0, 1, 2, \dots\}$). Prin $M_{\leq \aleph_0}$ vom înțelege o mulțime finită sau infinit enumerabilă.

Propoziția 1. Fie $S_{\leq \aleph_0}$. Atunci S_σ este infinit enumerabilă.

Demonstrație. Pentru $S = \{s_0, s_1, s_2, \dots\}$, cu s_i reciproc distincte, definim o reprezentare

$$i : S_\sigma \rightarrow N : \begin{cases} i(*) = 1, \text{ unde } "*" \text{ este stringul de lungime zero} \\ i(s_{j_0} \dots s_{j_m}) = p_0^{j_0+1} \cdot \dots \cdot p_m^{j_m+1} \end{cases}$$

Cum i este injectivă, rezultă că S_σ este enumerabilă.⁷

Pentru a construi un limbaj formal în care să putem reprezenta adecvat entități matematice diferite (demonstrații, axiome, teoreme) este necesară adăugarea altor simboluri. pe scurt, un alfabet S , suficient al lui $\mathcal{L}_1$, conține următoarele categorii de simboluri:

- S_0 .
1. operatorii uzuali ai calculului propozițional (Cp) și ai calculului predicatelor de ordinul întâi cu identitate: $\neg, \vee, \wedge, \supset, \equiv, \exists, \forall, =$
 2. o mulțime nevidă de variabile individuale $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots\}$
 3. simboluri auxiliare: $), (,], [, :, \cdot$
- S_1 .
4. a. simboluri funcționale n -are ($n \geq 1$):
 $f, g, h, \dots, f_1, f_2, \dots$
 - b. simboluri predicative n -adice ($n \geq 1$):
 $P, Q, R, \dots, P_1, P_2, \dots$
 - c. o mulțime de constante $C = \{c_0, c_1, c_2, \dots\}$

$S = S_0 \cup S_1$ S_1 poate fi vidă. Caracterul unui limbaj de ordinul întâi este strict determinat de mulțimea S_1 .

Termenii unui limbaj $\mathcal{L}_1$ îi reprezintă stringurile din S_σ construite printr-un număr finit de aplicații ale următoarelor clauze:

⁷ S_σ nu poate fi finită, deoarece conține stringuri de forma

$s_i, s_i s_i, s_i s_i s_i, \dots$

T_1 . Orice variabilă este un termen.

T_2 . Orice constantă este un termen.

T_3 . Dacă $\tau_1, \dots, \tau_n$ sunt termeni, atunci $f(\tau_1, \dots, \tau_n)$ este un termen.

Fie λ_τ mulțimea termenilor lui $\mathcal{L}_1$.

Formulele lui $\mathcal{L}_1$ sunt acele stringuri din $\mathcal{S}_\sigma$ construite printr-un număr finit de aplicații ale următoarelor clauze:

F_1 . Dacă τ_1 și τ_2 sunt termeni, atunci $\tau_1 = \tau_2$ este o formulă (elementară).

F_2 . Dacă $\tau_1, \dots, \tau_n$ sunt termeni, atunci $Q(\tau_1, \dots, \tau_n)$ este o formulă (elementară).

F_3 . Dacă φ și ψ sunt formule, atunci $\neg\varphi$, $\neg\psi$, $\varphi \vee \psi$, $\varphi \wedge \psi$, $\varphi \supset \psi$, $\varphi \equiv \psi$, $\exists x\varphi$ și $\forall x\varphi$, cu x variabilă individuală, sunt formule.

Fie λ_φ mulțimea formulelor limbajului $\mathcal{L}_1$. λ_φ este limbajul de ordinul întâi asociat lui $\mathcal{S}_1$.

Propoziția 2. Fie $\mathcal{S}_1 \leq \aleph_0$. Atunci λ_τ și λ_φ sunt enumerabile.

Demonstrație. λ_τ și λ_φ sunt submulțimi ale lui $\mathcal{S}_\sigma$. Însă cum $\mathcal{S} \leq \aleph_0$ rezultă că $\mathcal{S}_\sigma$ este infinit enumerabilă (prin Propoziția 1). De unde rezultatul.

b) *Semantica limbajelor de ordinul întâi* ($\mathcal{L}_1$)

b1. *Interpretare* (I). O interpretare $I : \langle \Omega, \alpha \rangle$ pe Ω este simultan:

1. un domeniu nevid de elemente $\Omega : \{e_0, e_1, e_2, \dots\}$
2. o funcție α , cu domeniul $\{\mathcal{S}_1 \cup V\}$, numită *funcție asignare*, prin care

a) fiecărei constante c din $\mathcal{S}_1$ i se atribuie un element $\alpha(c)$ din Ω

b) fiecărui simbol predicativ n -adic P din $\mathcal{S}_1$ i se atribuie o relație n -adică $\alpha(P)$ pe Ω

c) fiecărui simbol funcțional n -ar f din $\mathcal{S}_1$ i se atribuie o funcție n -ară $\alpha(f)$ pe Ω

d) pentru orice $v_i, \alpha : v_i \rightarrow \Omega$ ($i \in N$).

Dacă I este o interpretare pe Ω , x este o variabilă individuală arbitrară iar e este un element din Ω , atunci I_x^e este o interpretare care coincide cu I pentru toate argumentele diferite de x și este egală cu e pentru argumentul x ; adică

$$(R) \quad I_x^e(y) = \alpha_x^e(y) = \begin{cases} \alpha(y), & \text{dacă } y \neq x \\ e, & \text{dacă } y = x \end{cases}$$

(R) poate fi generalizată la un număr arbitrar de variabile din V .

b2. Satisfacere (*Sat*)

Dacă I este o interpretare arbitrară, atunci prin I oricărui termen τ îi corespunde un element $I(\tau)$ din Ω . Pentru $\tau = c$ și $\tau = x$ corespondența este elementară. Dacă f este un simbol funcțional din S_1 , iar $\tau_1, \dots, \tau_n$ sunt termeni, atunci

$$I(f(\tau_1, \dots, \tau_n)) = f^I(I(\tau_1), \dots, I(\tau_n)).$$

Relația *Sat* explicitează sensul în care o formulă este adevărată într-o anumită interpretare. Dacă I satisface φ , atunci I este un *model* al lui φ , i.e. $I \models \varphi$. Definiția *Sat* se poate face prin inducție pe formulele φ . Să dăm doar câteva exemple.

$I \models \tau_1 = \tau_2$ eq $I(\tau_1) = I(\tau_2)$, cu "eq" pentru echivalența metalingvistică "dacă și numai dacă"

$$I \models P(\tau_1, \dots, \tau_n) \text{ eq } P^I(I(\tau_1), \dots, I(\tau_n))$$

$$I \models \neg \varphi \text{ eq } \text{non } I \models \varphi$$

$$I \models (\varphi \vee \psi) \text{ eq } I \models \varphi \text{ sau } I \models \psi$$

$$I \models \exists x \varphi \text{ eq } \text{există un } e \in \Omega \text{ astfel că } I_x^e \models \varphi.$$

I este un model pentru o mulțime arbitrară de k formule din $\lambda_\varphi, \lambda_\varphi^k$, i.e. $I \models \lambda_\varphi^k$ dacă pentru orice $\varphi \in \lambda_\varphi^k$ avem $I \models \varphi$.

Deci, $I \models \varphi$ eq φ este adevărată în interpretarea I .

b3. *Consecință (Conseq).* φ este o consecință a lui λ_{φ}^k ($\lambda_{\varphi}^k \models \varphi$) eq orice interpretare (model) al lui λ_{φ}^k este și un model al lui φ .

Pe baza *Conseq* pot fi definite conceptele *satisfiabilității* (realizabilității) și *validității* unei formule, respectiv

φ este *satisfiabilă* (*Sat*) eq există o interpretare I care este model al lui φ .

φ este *validă* ($\models \varphi$) eq φ este adevărată în orice interpretare (i.e. $\lambda_{\varphi} \models \varphi$).

Propoziția 3. $\models \varphi$ eq non *Sat* $\neg \varphi$.

b4. *Substituția* ($\int$)

Dacă x este o variabilă liberă într-o formulă φ , atunci x poate fi înlocuită în toate ocurențele sale libere cu un termen arbitrar τ și se obține o formulă ψ (în acest caz ψ spune despre τ exact ceea ce φ spune despre x). Operația poate fi executată simultan pentru un număr arbitrar de variabile.

Dacă τ este un termen arbitrar, atunci

$$I \left(\tau \int_{x_0, \dots, x_m}^{\tau_0, \dots, \tau_m} \right) \text{ eq } I \tau \int_{x_0, \dots, x_m}^{I(\tau_0), \dots, I(\tau_m)}$$

Dacă φ este o formulă arbitrară, atunci

$$I \models \varphi \int_{x_0, \dots, x_m}^{\tau_0, \dots, \tau_m} \text{ eq } I \int_{x_0, \dots, x_m}^{I(\tau_0), \dots, I(\tau_m)} \models \varphi$$

Acesta este cadrul teoretic general a ceea ce înseamnă un limbaj de ordinul întâi. Prin puterea sa de expresie el poate constitui un cadru adecvat demonstrațiilor matematice. Mai precis, orice enunț care este consecință a unei mulțimi de enunțuri λ_{φ}^k este demonstrabil din λ_{φ}^k . Pentru aceasta este necesară introducerea unor reguli de deducție.

Prin *demonstrație/deducție* vom înțelege o suită finită de ocurențe ale formulelor $\varphi_1, \dots, \varphi_k, \psi$, astfel că fiecare formulă

este fie o formulă asumptie (din λ_φ^k), fie rezultă din formule anterioare ale suitei prin aplicarea unor reguli de deducție. Demonstrațiile/deducțiile sunt așadar transformări sintactice pe stringuri de simboluri, respectiv corespondentul structural sintactic ($\vdash$) al relației de consecință semantică ($\models$). Care sunt aceste reguli de deducție, depinde de fiecare dată de alegerea făcută. În cele ce urmează presupunem regulile de introducere și eliminare ale operatorilor logici menționați în S_0 , în sensul lui Gentzen.⁸ Fie acest calcul C_{seq} .

2 Proprietăți remarcabile ale LO1

Completitudinea: Pentru orice λ_φ^k și φ : Dacă $\lambda_\varphi^k \models \varphi$, atunci $\lambda_\varphi^k \vdash \varphi$.

O demonstrație elegantă a completitudinii LO1 poate fi dobândită pe baza teoremei lui Henkin.⁹ Schițăm în cele ce urmează conținutul acestei teoreme.

Construcția lui Henkin în vederea găsirii unei interpretări care satisface o mulțime arbitrară λ_φ^k de formule este una sintactică, în sensul că elementele sintaxei limbajului $\mathcal{L}_1$ considerat devin "valori" ale interpretării. Mai exact, domeniul Ω al lui I este mulțimea tuturor termenilor lui $\mathcal{L}_1$, respectiv λ_τ . În acest caz vom avea

$$I(v_i) \equiv v_i \quad (i \in N)$$

$$If(\tau) \equiv f(\tau)$$

$$IP \equiv \{\tau \in \Omega \mid \lambda_\varphi^k \vdash P(\tau)\}$$

Pe baza acestor corespondențe (sintactico-semantic) se construiește cu ușurință o τ -interpretare I_τ , prin definirea unei relații de echivalență pe λ_τ și prin utilizarea claselor de

⁸cf. Gentzen [1]

⁹comp. Henkin [1]

echivalență ca elemente ale domeniului interpretării. De exemplu, dacă $\bar{\tau}$ este clasa de echivalență a lui τ , atunci

$$\bar{\tau} : \{\tau' \in \lambda_{\tau} | \tau \sim \tau'\}$$

unde $\tau \sim \tau' \text{ eq } \lambda_{\varphi}^k \vdash \tau = \tau'$.

În acest fel itemurile a)-d) ale interpretării I devin core-spunzător:

a') pentru orice c din $S_1 : I_{\tau}(c) = \bar{c}$

b') $I_{\tau}(P(\bar{\tau}_1, \dots, \bar{\tau}_n)) \text{ eq } \lambda_{\varphi}^k \vdash P(\tau_1, \dots, \tau_n)$

c') $I_{\tau}f(\bar{\tau}_1, \dots, \bar{\tau}_n) \equiv \overline{f(\tau_1, \dots, \tau_n)}$

d') $I_{\tau}(x) \equiv \bar{x}$.

În acest fel pentru un termen arbitrar τ , $I_{\tau}(\tau) = \bar{\tau}$, pentru o formulă atomară arbitrară $\varphi \in \lambda_{\varphi}^k$, $I_{\tau} \models \varphi \text{ eq } \lambda_{\varphi}^k \vdash \varphi$, iar pentru o formulă arbitrară cuantificată existențial și care conține variabilele individuale distincte $x_1, \dots, x_n$, avem $R_1 : I_{\tau} \models \exists x_1 \dots \exists x_n \varphi \text{ eq există } \tau_1, \dots, \tau_n \text{ din } \lambda_{\tau} \text{ astfel că } I_{\tau} \models \varphi \int_{x_1, \dots, x_n}^{\tau_1, \dots, \tau_n}$.

În formularea teoremei lui Henkin intervin două clauze (Cl) cu privire la mulțimea λ_{φ}^k de formule, respectiv completitudinea în raport cu negația și clauza martor.

Cl1. λ_{φ}^k este completă în raport cu negația (N-completă) eq pentru orice $\varphi : \lambda_{\varphi}^k \vdash \varphi$ sau $\lambda_{\varphi}^k \vdash \neg \varphi$

Cl2. λ_{φ}^k conține martori eq pentru orice φ de forma $\exists x \varphi$ există un termen τ astfel că $\lambda_{\varphi}^k \vdash (\exists x \varphi \supset \varphi \int_x^{\tau})$

Între derivabilitatea unei formule φ dintr-o mulțime λ_{φ}^k de formule și relația Sat există un gen de paralelism. Sub asumptia consistenței lui λ_{φ}^k ($Con_{\lambda_{\varphi}^k}$) și a Cl următoarea echivalență, de exemplu, este validă:

R2. $\lambda_\varphi^k \vdash \exists x \varphi$ eq există un termen τ , astfel că $\lambda_\varphi^k \vdash \varphi \int_x^\tau$.
 Căci dacă $\lambda_\varphi^k \vdash \exists x \varphi$, atunci prin Cl2 există un termen τ astfel că rel. $\vdash$ din Cl2 este validă. De unde, prin *modus ponens* obținem $\lambda_\varphi^k \vdash \varphi \int_x^\tau$. Conversia se obține prin aplicarea regulii introducerii $\exists$ în succedent aplicată echivalentului drept.

Teorema lui Henkin. *Dacă λ_φ^k este o mulțime consistentă de formule, atunci, sub asumția Cl, pentru orice φ*

$$I_\tau \models \varphi \text{ eq } \lambda_\varphi^k \vdash \varphi, \text{ unde } I_\tau \text{ este o } \tau - \text{interpretare.}$$

Demonstrația se face prin inducție după *gradul* unei formule. Prin *gradul* unei formule arbitrare φ se înțelege *numărul* operatorilor logici (conectori și cuantificatori) ai formulei, așadar, $gr(\varphi) = 0$, dacă φ este o formulă elementară, $gr(\neg \varphi) = gr(\varphi) + 1$, $gr(\varphi \vee \psi) = gr(\varphi) + gr(\psi) + 1$, $gr(\exists x \varphi) = gr(\varphi) + 1$.

Pentru demonstrație să considerăm doar cazul $\varphi = \exists x \psi$.
 Avem astfel următoarele echivalențe metalingvistice:

$I_\tau \models \exists x \psi$ eq există un τ astfel că $I_\tau \models \psi \int_x^\tau$ (prin R2 de mai sus) eq există un τ astfel că $\lambda_\varphi^k \vdash \psi \int_x^\tau$ (prin ipoteză, dat fiind faptul că $gr(\psi \int_x^\tau) = gr(\psi) < gr(\varphi)$ eq $\lambda_\varphi^k \vdash \exists x \psi$ (prin R2)).

Corolar 1. *Dacă λ_φ^k este consistentă, atunci, sub asumția Cl, $I_\tau \models \lambda_\varphi^k$ (i.e. $Sat_{\lambda_\varphi^k}$).*

Extensiune. Rezultatul corolarului de mai sus, din care putem deduce teorema de completitudine a sistemului considerat, poate fi extins prin eliminarea Cl, atât pentru S_1 enumerabil, cât și pentru S_1 non-enumerabil.

Pe scurt, rezultatele sunt următoarele.

Pentru $S_{1 \leq \aleph_0}$, eliminarea celor două clauze se face astfel. Se consideră mai întâi că λ_φ^k conține un număr *finit* de variabile care apar libere în această mulțime consistentă de formule. Atunci există o altă mulțime consistentă de formule λ_φ^l care conține martori, astfel că $\lambda_\varphi^k \subset \lambda_\varphi^l \subset \lambda_\varphi$. Similar, sub

asumpția consistenței lui λ_φ^l , există o mulțime λ_φ^m , N -completă, astfel că $\lambda_\varphi^l \subset \lambda_\varphi^m \subset \lambda_\varphi$. Aceste rezultate extind o mulțime arbitrară consistentă de formule λ_φ^k la o mulțime de formule care posedă Cl . Prin corolarul de mai sus λ_φ^m este satisfiabilă și deci și λ_φ^k este satisfiabilă (deoarece $\lambda_\varphi^k \subset \lambda_\varphi^m$).

Însă și asumpția numărului finit al variabilelor libere din λ_φ^k poate fi eliminată, prin înlocuirea acestora cu constante noi care nu apar în S_1 , obținând astfel următoarea teoremă.

Th1. Fie $S_{1 \leq n_0}$ și $\lambda_\varphi^k \subset \lambda_\varphi$ consistentă. Atunci λ_p^k este satisfiabilă.

Un rezultat similar se poate obține și pentru celălalt caz, S_1 non-enumerabil, respectiv

Th2. Fie S_1 non-enumerabil și $\lambda_\varphi^k \subset \lambda_\varphi$ consistentă. Atunci λ_φ^k este satisfiabilă.

Teorema de completitudine. Fie $\lambda_\varphi^k \subset \lambda_\varphi$ și $\varphi \in \lambda_\varphi$. Atunci, Dacă $\lambda_\varphi^k \models \varphi$, atunci $\lambda_\varphi^k \vdash_{S_1} \varphi$.

Demonstrație. Rezultatul acestei teoreme se obține simplu din Th1 (pentru S_1 enumerabil) și din Th2 pentru S_1 non-enumerabil, astfel: presupunem pentru λ_φ^k și φ că $\lambda_\varphi^k \models \varphi$ însă $\text{non } \lambda_\varphi^k \vdash \varphi$. Atunci $\lambda_\varphi^k \cup \{\neg\varphi\}$ este consistentă, însă nu satisfiabilă (pe baza următoarelor echivalențe metalingvistice demonstrabile: $\lambda_\varphi^k \models \varphi \text{ eq } \text{non Sat } \lambda_\varphi^k \cup \{\neg\varphi\}$ și $\lambda_\varphi^k \vdash \varphi \text{ eq Inc } \lambda_\varphi^k \cup \{\neg\varphi\}$), ceea ce contrazice Th1/Th2.

Dacă sistemul considerat C_{seq} este consistent, atunci, Dacă $\lambda_\varphi^k \vdash \varphi$, atunci $\lambda_\varphi^k \models \varphi$ (pentru orice λ_φ^k și pentru orice φ) (i.e. teorema de consistență).

Pe baza completitudinii și a consistenței, cu $\lambda_\varphi^k \subset \lambda_\varphi$ și $\varphi \in \lambda_\varphi$, obținem următoarea echivalență metalingvistică: $\lambda_\varphi^k \models \varphi \text{ eq } \lambda_\varphi^k \vdash_{S_1} \varphi$.

Pe de altă parte, o echivalență metalingvistică remarcabilă poate fi obținută și cu privire la conceptele *satisfiabilității* și *consistenței*. Căci orice mulțime satisfiabilă de formule este con-

sistentă. În caz contrar, din $\lambda_\varphi^k \vdash \varphi$ și $\lambda_\varphi^k \vdash \neg\varphi$, de unde, prin teorema de consistență, $\lambda_\varphi^k \models \varphi$ și $\lambda_\varphi^k \models \neg\varphi$, și deci λ_φ^k nu poate fi satisfiabilă. Pe baza acestui rezultat și a Th2 obținem: *Sat* λ_φ^k eq *Cons* λ_φ^k (pentru $\lambda_\varphi^k \subset \lambda_\varphi$).

Pe baza Th. lui Henkin putem obține o altă particularitate remarcabilă a LO1, respectiv

Teorema Löwenheim-Skolem. *Fie λ_φ^k o mulțime $\leq \aleph_0$ satisfiabilă de formule. Atunci λ_φ^k este $\Omega_{\leq \aleph_0}$ satisfiabilă.*

Pentru a demonstra că orice mulțime satisfiabilă finită/enumerabilă de formule este satisfiabilă într-un domeniu finit/enumerabil putem presupune mai întâi că λ_φ^k conține doar formule închise.¹⁰ λ_φ^k conține un număr finit sau enumerabil de simboluri (deoarece orice formulă conține doar un număr finit de simboluri din S_1 , presupunând că S_1 este $\leq \aleph_0$). Cum λ_φ^k este satisfiabilă rezultă că λ_φ^k este consistentă. Din rezultatele de mai sus rezultă că există o interpretare care satisface λ_φ^k al cărei Ω constă din clasele de echivalență $\bar{\tau}$ ale mulțimii λ_τ a termenilor lui $\mathcal{L}_1$. Cum λ_τ^k este enumerabilă (cf. Propoz. 2) rezultă că Ω este finit sau enumerabil.

O generalizare pentru λ_φ mulțime de formule este posibilă prin construirea unei mulțimi λ_φ^k de formule în care variabilele libere sunt substituite cu constante noi (care nu apar în alfabetul inițial).

Rezultatul poate fi generalizat pentru S_1 non-enumerabil. În acest caz obținem

Teorema Löwenheim-Skolem. (I) *Fie $\lambda_\varphi^k \subset \lambda_\varphi$ o mulțime satisfiabilă de formule. Atunci λ_φ^k este satisfiabilă într-un Ω a cărui cardinalitate nu este mai mare decât cardinalitatea lui λ_φ .*

¹⁰În orice context teoretic în care operăm strict cu formule închise clauza d. a interpretării se autosuprimă (devine redundantă). În acest caz domeniul lui α se restrânge la S_1 . O interpretare de acest fel se numește structură (I_{S_1}).

Alte variante ale acestei teoreme fundamentale a semanticii limbajelor de ordinul întâi pot fi obținute pe baza unui alt rezultat remarcabil, respectiv teorema de compacitate¹¹ în raport cu $\models$ și cu *Sat*.

Teorema de compacitate. (1) $\lambda_\varphi^k \models \varphi$ eq există o mulțime finită $\lambda_\varphi^{k_0} \subset \lambda_\varphi^k$, astfel că $\lambda_\varphi^{k_0} \models \varphi$.

(2) $\text{Sat}\lambda_\varphi^k$ eq $\text{Sat}\lambda_\varphi^{k_0}$ (pentru orice $\lambda_\varphi^{k_0}$ finit din λ_φ^k).

Rezultatul acestei teoreme (1) se obține direct din conceptul derivabilității formale, respectiv φ este derivabilă din λ_φ^k ($\lambda_\varphi^k \vdash \varphi$) eq există finit de multe formule $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ în λ_φ^k astfel că secvențul $\varphi_1, \dots, \varphi_n \rightarrow \varphi$ este demonstrabil. (2) se obține din (1) astfel: cum $\lambda_\varphi^k \vdash \varphi$ eq $\lambda_\varphi^{k_0} \vdash \varphi_0$, cu $\lambda_\varphi^{k_0} \subset \lambda_\varphi^k$ (căci $\text{Con}\lambda_\varphi^k$ eq există o formulă φ , astfel că $\lambda_\varphi^k \not\models \varphi$) rezultă că pentru orice λ_φ^k , $\text{Con}\lambda_\varphi^k$ eq $\text{Con}\lambda_\varphi^{k_0}$, pentru orice mulțime finită $\lambda_\varphi^{k_0} \subset \lambda_\varphi^k$. Din th. de completitudine (*Con* eq *Sat*) rezultă 2.

În fine, vom mai menționa o variantă a teoremei Löwenheim-Skolem.

Teorema Löwenheim-Skolem. (II) Dacă λ_φ^k este o mulțime satisfiabilă de formule într-un Ω infinit, atunci pentru orice Ω există un model al λ_φ^k al cărui cardinal este cel puțin egal cu cardinalul lui Ω .¹²

Aceste două rezultate remarcabile, teorema Löwenheim-Skolem și teorema de compacitate, sunt fundamentale pentru semantica LO1. Lindström [1] consideră că ele caracterizează în fond limbajele de ordinul întâi.

Ne rezumăm aici doar la expunerea ideilor din teoremele lui

¹¹ Prin metoda sistematică a tablourilor analitice teorema Löwenheim-Skolem și teorema de compacitate pot fi obținute simultan. Mai mult, cele două teoreme plus teorema de completitudine pentru tablouri pot fi privite ca și cazuri speciale ale unui "unifying principle" (cf. Smullyan [1], cap. V, VI).

¹² comp. R.L. Vaught [1].

Prima teoremă asertează: *nu există nici un sistem logic cu putere de expresie mai mare decât LO1, pentru care teorema Löwenheim-Skolem și teorema de compacitate să fie valide.*

A doua teoremă asertează: *nu există nici un sistem logic cu putere de expresie mai mare decât LO1, pentru care este validă teorema Löwenheim-Skolem și pentru care mulțimea enunțurilor valide este enumerabilă.*

Pe de altă parte, teorema de completitudine a LO1 laolaltă cu cea de consistență stabilesc o echivalență remarcabilă între conceptele teoriei modelelor (validitate, satisfiabilitate) și cele ale teoriei demonstrației (demonstrabilitate/derivabilitate și consistență). Această echivalență permite constituirea unei corespondențe între sintaxă și semantică, una care fundamentează transferul reciproc de proprietăți. Mai mult, o asemenea echivalență permite "traducerea" unor concepte transcendente, de felul validității sau satisfiabilității (căci pentru un $\Omega = \aleph_0$ mulțimea funcțiilor logice implicate are cardinalul non-enumerabil $2^{\aleph_0}$) în conceptele finite și concrete ale teoriei demonstrației. Și pe acest temei LO1 este pe drept considerată logica *de facto* a limbajelor de ordinul întâi: ea pare să se constituie într-o structură care explicitează formal rolul original al unei logici: cel al acoperirii deductive a tuturor enunțurilor valide.

În fine, încheiem suita analizei proprietăților remarcabile ale LO1 prin menționarea altora trei: lema separării, lema interpolării și teorema definibilității. Să le prezentăm succint.

Lema separării. Fie $\lambda_{\varphi}^{k_1}$ și $\lambda_{\varphi}^{k_2}$ mulțimi consistente de formule, astfel că $\lambda_{\varphi}^{k_1} \cup \lambda_{\varphi}^{k_2}$ este o mulțime inconsistentă. Atunci există o formulă de separare φ , construită în același S_1 ca cele două mulțimi de formule, astfel că: $\lambda_{\varphi}^{k_1} \vdash \varphi$ și $\lambda_{\varphi}^{k_2} \vdash \neg\varphi$.

Interpolare. Fie $\varphi \supset \psi$ o formulă din λ_{φ}^k . O formulă χ se

¹³Pt. detalii, Lindström [1], Ebbinghaus, Flum, Thomas [1], cap.13.

numește *formulă de interpolare* dacă toate simbolurile din χ apar atât în φ cât și în ψ și dacă implicațiile $\varphi \supset \chi$ și $\psi \supset \chi$ sunt ambele valide.

Lema de interpolare (Craig)¹⁴ Fie $\varphi \supset \psi$ o formulă închisă validă. Atunci

1. dacă φ și ψ au cel puțin un simbol predicativ în comun, atunci există o formulă închisă de interpolare pentru $\varphi \supset \psi$.
2. dacă φ și ψ n-au nici un simbol predicativ în comun, atunci fie ψ este validă, fie φ este non-satisfiabilă.

2. se poate reduce la 1., căci dacă ψ este validă, atunci ambele implicații $\varphi \supset a$ și $a \supset \psi$ sunt valide; iar dacă φ este inconsistentă, atunci $\varphi \supset f$ și $f \supset \psi$ sunt ambele valide (unde a și f sunt simboluri pentru "adevărat" și "fals" adăugate alfabetului S).

Exprimată în C_{seq} , lema interpolării asertează: χ este o formulă de interpolare pentru secvența $\varphi_1, \dots, \varphi_n \rightarrow \psi_1, \dots, \psi_m$ eq χ este o formulă de interpolare pentru secvența $(\varphi_1 \wedge \dots \wedge \varphi_n) \supset (\psi_1 \vee \dots \vee \psi_m)$.

Teorema definibilității (Beth)¹⁵ Fie Q un simbol predicativ m -adic care nu aparține mulțimii S_1 . Fie acum, λ_φ o mulțime de formule închise constituite din $S_1 \cup \{Q\}$. Atunci:

1. λ_φ definește implicit Q dacă pentru orice interpretare I și pentru $Q_1, Q_2 \subset \Omega_m$ avem:

Dacă $[I, Q_1] \models \lambda_\varphi$ și $[I, Q_2] \models \lambda_\varphi$, atunci $Q_1 \equiv Q_2$.

2. λ_φ definește explicit Q dacă există o m -formulă $\psi \in \lambda_\varphi$, astfel că

$$\lambda_\varphi \models \forall v_0 \dots \forall v_{m-1} (Q(v_0, \dots, v_{m-1}) \equiv \psi)$$

1. și 2. sunt demonstrabil echivalente.

¹⁴Craig [1]

¹⁵Beth [1]

3 Limitele puterii de expresie a LO1. Limitele formalismelor LO1

Un prim aspect al limitelor puterii de expresie a LO1 rezultă chiar din teorema Löwenheim-Skolem. De exemplu, pentru câmpul ordonat $\mathcal{R} : \langle R, +, \cdot, 0, 1, < \rangle$ al numerelor reale nu există o mulțime λ_φ^k de formule închise, care-l caracterizează până la izomorfism (în sensul că $\mathcal{R}$ și doar structurile izomorfe lui $\mathcal{R}$ sunt modele ale lui λ_φ^k). Mulțimea λ_φ^k ar fi finită sau enumerabilă și deci satisfiabilă (fiindcă $\mathcal{R} \models \lambda_\varphi^k$). De unde, prin Th. Löwenheim-Skolem, există o structură I_{S_1} , astfel că $I_{S_1} \models \lambda_\varphi^k$. Însă I_{S_1} nu poate fi izomorfă cu $\mathcal{R}$ (fiindcă $\mathcal{R}$ are cardinalul non-enumerabil).

Fie λ_φ^k o mulțime de formule închise. Atunci

$Md\lambda_\varphi^k \text{ eq } \{I_{S_1} \mid I_{S_1} \models \lambda_\varphi^k\}$ *clasa modelelor* lui λ_φ^k

Fie K clasa $\{I_{S_1}\}$ a structurilor. Dacă există o formulă închisă φ astfel încât $K = Md\varphi$, atunci K se numește *elementară*; dacă există o mulțime de formule închise λ_φ^k , astfel încât $K = Md\lambda_\varphi^k$, atunci K este Δ -elementară.

Teoremă. *Dacă $Inf(I_{S_1}^1)$, atunci $\{I_{S_1}^2 \mid I_z(I_{S_1}^1, I_{S_1}^2)\}$ nu este Δ -elementară [i.e. nici o structură infinită nu poate fi caracterizată până la izomorfism în LO1].*

Două structuri $I_{S_1}^1$ și $I_{S_1}^2$ se numesc *elementar echivalente* dacă pentru orice formulă φ închisă: $I_{S_1}^1 \models \varphi \text{ eq } I_{S_1}^2 \models \varphi$. O structură elementar echivalentă cu structura numerelor naturale I_S^N dar neizomorfă cu ea se numește *model nonstandard al aritmeticii*.

Teorema lui Skolem. *Există modele nonstandard ale aritmeticii.*¹⁶

$I_{S_1}^N$ este așadar o structură care nu poate fi axiomatizată în LO1.

¹⁶cf. Skolem [2]

O limitare de fond a formalismelor este dată de celebrele teoreme de incompletitudine ale lui Gödel. Să prezentăm schematic conceptele implicate în aceste rezultate.

Fie λ_φ o mulțime de enunțuri ale aritmeticii.

Fie $P(x_1, \dots, x_n)$ un predicat numeric intuitiv, cu $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{N}$. Vom spune că P este *exprimabil formal* în λ_φ dacă există o formulă $\varphi(v_1, \dots, v_n)$, fără alte variabile libere în afara celor menționate, astfel că pentru orice $x_i \in \mathbb{N}$ avem:

1. Dacă $P(x_1, \dots, x_n)$ este adev., atunci

$$\lambda_\varphi \vdash \varphi(x_1, \dots, x_n).$$

2. Dacă $P(x_1, \dots, x_n)$ este fals, atunci

$$\lambda_\varphi \vdash \neg \varphi(x_1, \dots, x_n).$$

În acest caz formula φ exprimă formal predicatul $P(x_1, \dots, x_n)$.¹⁷

Similar, o funcție $f : \mathbb{N}^m \rightarrow \mathbb{N}$ este *reprezentabilă formal* în λ_φ dacă există o formulă $\varphi(v_1, \dots, v_n)$, astfel că pentru orice $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{N}$ avem:

1. Dacă $f(x_1, \dots, x_n) = x_{n+1}$, atunci $\lambda_\varphi \vdash \varphi(x_1, \dots, x_n, x_{n+1})$.

2. Dacă $f(x_1, \dots, x_n) \neq x_{n+1}$, atunci

$$\lambda_\varphi \vdash \neg \varphi(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}).$$

3. $\exists! x_{n+1} | \varphi(x_1, \dots, x_n, x_{n+1})$.

Presupunem în continuare că o enumerare a formulelor aritmetice este posibilă (printr-o enumerație Gödel adecvată). În felul acesta formulele vor fi codificate prin numere naturale, iar enunțurile despre formule devin enunțuri aritmetice. O dată specificată enumerația Gödel, fie φ^n formula al cărei număr Gödel este n , respectiv prin $\varphi^n(x)$ vom înțelege formula care conține singura variabilă x și al cărei număr Gödel este n . Fie acum următorul predicat:

$P(x, y)$: " x este numărul Gödel al formulei $\varphi^x(x)$, iar y este numărul Gödel al unei demonstrații a formulei $\varphi^x(x)$ ".

¹⁷ analiza se va rezuma la cazurile în care pentru P există o procedură de decizie, respectiv pentru orice $x_i \in \mathbb{N}$: $\lambda_\varphi \vdash \varphi$ sau $\lambda_\varphi \vdash \neg \varphi$.

Fie acum formula $\forall y \neg \varphi(x, y)$, cu singura variabilă liberă x . În enumerația Gödel făcută această formulă are un număr Gödel g ; este așadar formula $\varphi^g(x)$.

Fie acum formula $\varphi^g(g)$:

$$\forall y \neg \varphi(g, y)$$

Această formulă exprimă următoarea propoziție: $\varphi^g(g)$ este indemonstrabilă, adică o propoziție care asertează propria-i indemonstrabilitate.¹⁸ Fie această formulă ψ .

Th G1. Dacă λ_φ este consistentă, atunci non $\lambda_\varphi \vdash \psi$ și non $\lambda_\varphi \vdash \neg \psi$.

Th G2. Dacă λ_φ este consistentă, atunci non $\lambda_\varphi \vdash \text{Con}(\lambda_\varphi)$.

Th G1 asertează simplu existența unei formule indemonstrabile (și deci incompletitudinea aritmeticii) iar Th G2 imposibilitatea demonstrării consistenței lui λ_φ (sub asumția consistenței lui λ_φ).

4 Ce este o logică IF?

Construcția teoretică de mai sus a LO1, dincolo de proprietățile ei remarcabile, este ca orice dezvoltare teoretică, *relativă* la asumpțiile sale. Chiar și același calcul poate fi "văzut" diferit în raport cu premisele lui epistemologice. Regulile C_{seq} corespund perfect semnificației uzuale a operatorilor logici și a egalității matematice. Negația ordonează polar clasele de propoziții în acord cu *tertium non datur*. Matematica *clasică* adoptă integral aceste concepte. Însă ele pot fi deopotrivă revendicate atât de o opțiune teoretică formalistă cât și de una extrem-platonistă. Cea din urmă este clar

¹⁸ formula se obține prin diagonalizare cantoriana din formula $\varphi^g(x)$ prin înlocuirea variabilei x cu numeralul g .

reprezentată în următorii termeni: "Die mathematische Logik, an die dieses Lehrbuch heranführen soll, ist eine ontologisch bestimmte Logik. Die Ontologie, auf der sie fusst, ist die platonische Ontologie der klassischen Mathematik,..." (p.V). "Für diese Ontologie ist charakteristisch die Grundvoraussetzung, dass die Objekte der Mathematik und mit ihnen die mathematischen Bereiche an sich existieren, wie die platonischen Ideen."¹⁹ (p.1)

În contrast cu un asemenea punct de vedere, *intuiționismul* introduce "clauza demonstrației constructive" pentru propozițiile matematice. O expresie disjunctivă, de exemplu, poate fi acceptată doar dacă s-a demonstrat unul dintre disjuncți. În caz contrar, expresia clasică a terțului exclus, $\alpha \vee \neg\alpha$, își pierde valabilitatea. Matematica intuiționistă este o investigație a acelor "mental mathematical constructions as such, without reference to questions regarding the nature of the constructed object, such as whether objects exists independently of our knowledge of them"²⁰ (p.1)

Nu vom analiza în cele ce urmează șirul disputelor pe această temă. Ceea ce ne interesează este investigarea, printr-o situare comparativă, a unei *alternative* conceptuale de ordinul întâi la Logica de ordinul întâi mai sus prezentată, respectiv investigarea cadrului conceptual al *IF logic*.

Ce este o asemenea logică?

Ce este o logică IF de ordinul întâi (IFL1)

În intențiile ei cele mai elaborate IFL1 "este logica noastră elementară adevărată".²¹ IFL1 este o extensiune conservativă a LO1 și în acest sens este o logică mai tare, prin faptul că admite *independența informațională* în situații în care teoria

¹⁹Scholz și Hasenjaeger [1]

²⁰Heyting [1]; comp. și H. Weyl [2]

²¹Hintikka [2], 50

clasică a cuantificării (Frege, Russell) n-o poate capta. Ea vrea să integreze structural acest fenomen ubicuu dar "dizident" în raport cu LO1: cel al independenței informaționale.²²

Ideea exceptării unui operator logic (cuantificator sau conectiv) din domeniul altuia este marcată prin utilizarea slash-ului (" / "). O expresie de genul $\forall x \exists y / \forall x \varphi(x, y)$ are ca echivalent $\exists y \forall x \varphi(x, y)$. Ce consecințe are introducerea unei asemenea idei și a notației aferente? Rămâne, prin proprietățile ei, IFL1 o construcție elegantă conceptual și elementară cel puțin la fel ca LO1?

Pentru a răspunde la aceste întrebări să vedem mai întâi arhitectura conceptuală interioară a IFL1.

4.1 IFL1 se bazează pe un concept al adevărului din teoria semantică a jocurilor

Care este înțelesul unui asemenea concept?

Ideea jocurilor de limbaj are, indiscutabil, ca sursă filosofia târzie a lui Wittgenstein.²³ Aici întâlnim teza după care semnificația descriptivă a unui enunț este în mod necesar mediată prin activități umane guvernate de reguli, respectiv prin jocuri de limbaj. O astfel de teză, adecvat interpretată, poate fundamenta un concept semantic central, cel al adevărului. De altfel, conexiunea celor două concepte este una imediată: *un enunț înseamnă ceea ce înseamnă explicitând modul în care este lumea dacă enunțul este adevărat*. O definiție a adevărului trebuie să specifice condițiile de adevăr pentru diferitele enunțuri, cunoașterea acestor condiții însemnând cunoașterea semnificației enunțului respectiv.

Pe de altă parte, o perspectivă filosofică adecvată asupra definiției adevărului antrenează o perspectivă filosofică adec-

²²preocupările de acest gen sunt mai vechi, comp. Henkin [2], Walkoe [1], Enderton [1]

²³cf. Wittgenstein [1]

vătă asupra conceptelor care presupun conceptul adevărului, e.g. *validitate*, *consecință semantică*. Dacă φ este o formulă închisă (enunț), atunci lui φ îi asociem o clasă de structuri/modele: $Md\varphi$. Un model M este un model al lui φ dacă φ este adevărată în M . Atunci, ca mai sus, avem

$$Md\varphi \text{ eq } \{I_{S_1} | I_{S_1} \models \varphi\}.$$

Iar când anume φ este adevărată în M , acest lucru îl asertează o definiție a adevărului.

Cum arată o astfel de definiție în teoria jocurilor?

Să plecăm de la jocurile de limbaj ale logicii. Fie $\varphi \in \lambda_\varphi$ un enunț de forma

$$1) \forall x \exists y \varphi(x, y)$$

Verificarea lui φ înseamnă pentru orice valoare a lui x din Ω , e_k , găsirea unei valori din Ω , e_l , astfel că $\varphi(e_k, e_l)$ este adevărat. Acest "dialog" poate fi considerat ca un joc (semantic) al verificării/falsificării între două persoane: vericatorul inițial și falsificatorul inițial. Întregul joc se desfășoară într-un model și începe de fiecare dată cu enunțul respectiv. Regulele jocului de limbaj pentru operatorii logici sunt fundamentate de semnificațiile uzuale. De exemplu, pentru $\&$ și $\exists$ aceste reguli sunt:

($\forall$) $J(\varphi_1 \& \varphi_2)$ este jocul care începe cu alegerea de către falsificator a unui enunț φ_i ($i = 1, 2$) și continuă cu $J(\varphi_i)$.

($\exists$) $J(\exists x \varphi(x))$ este jocul care începe cu alegerea de către vericator a unui element din Ω , fie el e_l , iar jocul continuă cu $\varphi(e_l)$.

E ușor de văzut, printr-o aplicare a unei reguli se elimină un operator logic. În final se ajunge astfel la un enunț atomic de forma φ sau $\neg\varphi$, în funcție de care putem spune cine câștigă, vericatorul sau falsificatorul.

Aceste reguli ale operatorilor logici nu conțin predicatul adevărat. Colocvial, adevărul/falsitatea unui enunț φ pot fi ex-

plicitate prin următoarea regulă

Ra/f: φ este adevărat/fals în M eq există o strategie reușită pentru verifikatorul/falsifikatorul inițial în $J(\varphi)$ jucat în M .

Nucleul acestei "definiții" rezidă în conceptul *strategiei reușite* și care înseamnă o *regulă* care determină, în orice etapă posibilă a jocului, care mișcare trebuia făcută. Strict vorbind, pentru verifikatorul inițial, strategia este o mulțime finită de funcții Skolem,²⁴ ale căror argumente sunt elemente din Ω alese de falsifikator până în momentul respectiv al jocului. Iar valorile acestor funcții indică elementul pe care verifikatorul trebuie să-l aleagă în fiecare din mișcările sale. Funcțiile Skolem sunt entități de ordinul doi. Un enunț de genul 1) capătă astfel o translație corespunzătoare într-un enunț de ordinul doi, astfel

$$2) \exists f \forall x \varphi(x, f(x))$$

Însă echivalența celor două expresii

$$3) \exists f \forall x \varphi(x, f(x)) \equiv \forall x \exists y \varphi(x, y)$$

este o variantă a axiomei alegerii. Mai mult chiar, o astfel

²⁴Funcțiile Skolem se mai numesc și funcții de decizie. Să clarificăm conceptul printr-un exemplu simplu. Fie următoarea formulă închisă a LO1: $\psi : \exists x_1 \dots \exists x_l \forall y_1 \dots \forall y_m \exists z_1 \dots \exists z_n \varphi(x_1, \dots, x_l, y_1, \dots, y_m, z_1, \dots, z_n)$ unde φ este un predicat arbitrar. Ordinea în care apar cuantificatorii în prefix este de asemenea arbitrară. În exemplul nostru avem trei serii omogene de cuantificatori $\exists_l, \forall_m, \exists_n$. Pentru a construi funcțiile Skolem pentru formula ψ fiecărei variabile legate de $\exists$ îi asociem o funcție arbitrară, $f_i : \Omega \rightarrow \Omega$, și care depinde numai de variabilele legate de cuantificatorii universali care preced cuantificatorul existențial respectiv. Dacă prefixul începe cu cuantificatori existențiali, ca mai sus, atunci variabilei respective îi asociem un element din Ω (funcție degenerată). În formula ψ celor l variabile $x_1, \dots, x_l$ le asociem l elemente din Ω . Variabilelor z_i le asociem funcțiile $f_i(y_1, \dots, y_m)$. Dacă prin înlocuirea variabilelor din φ cu aceste valori predicatul $\varphi[e_1, \dots, e_l, y_1, \dots, y_m, f_1(y_1, \dots, y_m), \dots, f_n(y_1, \dots, y_m)]$ ia valoarea logică *adevărat*, pentru orice valoare asignată variabilelor pe care le conține, atunci funcțiile menționate $e_1, \dots, e_l, f_1(y_1, \dots, y_m), \dots, f_n(y_1, \dots, y_m)$ se numesc *funcții Skolem pentru formula ψ* .

Așadar, adevărul formulei ψ implică (necesar și suficient) existența acestor funcții Skolem.

de echivalență între un enunț și condiția lui de adevăr (i.e. translația lui de ordinul doi) este ceea ce spune și schema T a lui Tarski, respectiv

4) "φ" este adev $\equiv \varphi$

De unde putem conchide că pentru limbaje de ordinul întâi "definiția" adevărului în sensul teoriei semantice a jocurilor este echivalentă cu definiția tarskiană plus axioma alegerii.

Ceea ce avem mai sus nu reprezintă o definiție a adevărului, ci doar reguli de adevăr pentru diferite categorii de enunțuri. O *definiție* a adevărului se poate obține însă printr-o integrare într-o singură expresie a tuturor condițiilor de adevăr. Pentru limbajele matematice o astfel de definiție a predicatului adevărat $\mathcal{A}$ presupune următoarele: limbajul uzual al aritmeticii de ordinul întâi, codificarea sintaxei unui limbaj formal dat în aritmetica elementară (prin enumerări Gödel ale obiectelor formale) și exprimarea/reprezentarea relațiilor și funcțiilor implicate în aritmetica elementară. Acest lucru se poate face deoarece relațiile și funcțiile conținute în definiția de mai jos a lui $\mathcal{A}$ sunt recursive. Și orice relație/funcție recursivă este exprimabilă/reprezentabilă în teoria elementară a numerelor.²⁵

Într-o formulare de ordinul doi predicatorul $\mathcal{A}$ are următoarea structură

5) $\exists \mathcal{A}[\text{Adev}(\mathcal{A}) \& \mathcal{A}(y)]$,

unde $\exists \mathcal{A}$ asertează existența unei strategii iar $\text{Adev}(\mathcal{A})$ garantează existența unei strategii reușite pentru verificatorul inițial al jocului de limbaj, iar y este numărul Gödel al unui enunț.

$\text{Adev}(\mathcal{A})$ este o conjuncție de formule de următorul gen:

a) $\forall x \forall y \forall z [(x = \ulcorner \varphi_1 \wedge \varphi_2 \urcorner \wedge y = \ulcorner \varphi_1 \urcorner \wedge z = \ulcorner \varphi_2 \urcorner) \supset (\mathcal{A}(x) \supset (\mathcal{A}(y) \wedge \mathcal{A}(z)))]$

b) $\forall y \exists z \forall w [(y = \ulcorner \exists x \varphi(x) \urcorner \wedge u = \ulcorner \varphi(z) \wedge \mathcal{A}(y) \urcorner) \supset \mathcal{A}(w)]$.

²⁵ comp. Kleene [1], §49.

:

Din suita acestor formule fac parte și cele referitoare la ceilalți operatori logici, eventual la alte relații/funcții.

Acest predicat al adevărului poate fi generalizat la alte limbaje de ordinul întâi decât cel aritmetic, astfel

$$6) \exists f \text{ Sat}(\ulcorner \varphi \urcorner, f),$$

unde $\text{Sat}(\ulcorner \varphi \urcorner, f)$ este relația tarskiană a satisfiabilității între numărul Gödel al enunțului φ și o funcție valorizare f .²⁶ Existența acestei funcții, explicată de $\exists f$, ne arată că și formularea 6 este una de ordinul doi. Pentru un enunț φ 6) afirmă pur și simplu că φ este adevărat.

Așadar, 5), respectiv 6) se constituie în definiții ale adevărului pentru limbaje uzuale de ordinul doi. O definiție de genul 5) totuși nu este automat adecvată pentru IFL1. Pentru aceasta mai este necesară adăugarea unei clauze predicatului $\text{Adev}(\mathcal{A})$ de mai sus, cu privire la formulele care conțin cuantificatori Henkin (i.e. de genul $\forall x \forall z (\exists y / \forall z) (\exists u / \forall z)$) și obținerea unui corespondent al său. O astfel de clauză trebuie să producă condiția de adevăr pentru enunțurile cu cuantificatori Henkin:

$$\exists x [(x = g(\varphi) \& \mathcal{A}(x)) \supset \exists f \exists g \forall y \forall u \exists w (w = g(\varphi(y, f(y)), u, g(u))) \& \mathcal{A}(x)],$$

unde $g(\varphi)$ este numărul Gödel al expresiei

$$\forall y \forall u (\exists z / \forall u) (\exists t / \forall y) \varphi(y, z, u, t).$$

Noul predicat al adevărului conține mai mulți cuantificatori existențiali de ordinul doi (este deci de forma Σ_1^1) și poate fi tradus adecvat într-un limbaj de ordinul întâi. Și deci, ceea ce avem aici este un concept al adevărului pentru limbaje IF de ordinul întâi exprimat în același limbaj IF de ordinul întâi, *adică o definiție a adevărului pentru un limbaj formulată în limbajul însuși.*

²⁶cf. Tarski [1]. Prin faptul că rel. Sat este între f și un număr Gödel este presupus faptul că limbajul de ordinul întâi considerat conține aritmetica elementară.

Concluzii

(i) Conceptul adevărului din IFL1 depășește rezultatul de imposibilitate al lui Tarski cu privire la definibilitatea adevărului pentru un limbaj în limbajul însuși. De altfel IFL1 nu admite o definiție a adevărului à la Tarski

(ii) Conceptul adevărului din IFL1 are drept corolar *axioma alegerii*. În felul acesta validarea axiomei se face pe cale pur logică.

4.2 IFL1 nu este o logică neclasică, dar nu-i nici una clasică

Această celificare a IFL1 rezultă din conceptul de mai sus al adevărului, care-o fundamentează, și care implică *nevaliditatea terțului exclus* și, mai departe, resemnificarea conectorilor calculului propozițional clasic (negația, implicația, echivalența). Să vedem cum stau lucrurile.

Prin faptul că IFL1 este o extensiune conservativă a LO1 aceasta ar trebui considerată o logică clasică. Cu toate acestea, extensiunea ei dincolo de LO1 relevă, cum vom vedea mai jos comparativ cu proprietățile LO1 expuse în §§1-3, particularități neclasice.

Conceptul adevărului în semantica jocurilor de limbaj implică un anumit mod de funcționare a negației. O logică IF1, ca extensiune a LO1 conține *două* negații diferite, cea clasică, contradictorie ($\neg$), din LO1, și negația tare (duală) a registrului extensiunii. Într-un model arbitrar considerat pentru limbaje IF1 o negație duală poate fi *simultan* negația duală a unui enunț și a *contradictoriului* său.²⁷ Acest fapt ne relevă că negația duală nu este una clasică.

Acest mod de comportare a negației duale determină nevaliditatea terțului exclus. Corolarul acestui fapt este nevaliditatea

²⁷comp. Hintikka [2], cap.7

tatea schemei T a lui Tarski, care *presupune* conceptul clasic al negației.²⁸

Pe de altă parte, nevaliditatea terțului exclus deconstruiește simpla complementaritate a modelelor unui enunț φ . Explicarea sensului în care φ este adevărat/fals presupune asocierea lui φ a clasei tuturor modelelor în care este adevărat și a clasei modelelor în care el este fals, cele două clase nemaifiind strict complementare.

În consecință și conceptul echivalenței se dedublează. Într-un sens *tare* $\varphi_1 \equiv \varphi_2$ dacă cele două enunțuri sunt adevărate în aceleași modele și sunt false în aceleași modele. În sens *slab*, φ_1 și φ_2 sunt adevărate în aceleași modele (sub aceeași interpretare). Pe acest sens slab al echivalenței se bazează IFL1²⁹, așadar pe un concept al echivalenței care nu coincide cu sensul uzual al operatorului din LO1.

Această dedublare conceptuală introduce un soi de ambiguitate care face problematică distincția logică clasică/logică neclasică. Și aceasta deoarece comportarea neclasică a unor operatori nu califică automat IFL1 ca fiind neclasică. Sursa dedublării semnificațiilor n-o reprezintă introducerea definițională a semnificațiilor nonstandard, ci admiterea tezei independenței informaționale, operantă în calcul prin notația *slash*.

O alternativă la situația de mai sus ar fi introducerea unui concept al negației contradictorii (slabe), valabil și pentru formulele IFL1. O putem face în două moduri, fie printr-o regulă

²⁸Nevalabilitatea în IFL1 a definițiilor adevărului tip Tarski are și o altă sursă. Aceste definiții presupun *compoziționalitatea*, în sensul că adevărul enunțurilor complexe este strict determinat de adevărul componentelor lor. Iar o definiție a adevărului are ca punct de plecare adevărul celor mai simple enunțuri elementare. Prin introducerea notației $\wedge / \vee$ această cerință a compoziționalității nu se mai respectă.

²⁹Un enunț IFL1 și translația lui în IFL2 sunt adevărate în aceleași modele dar nu sunt false în aceleași modele (consecință a validității terțului exclus pentru LO2 dar nu și pentru IFL1).

semantică, fie printr-o regulă a jocului. În oricare caz însă consecințele sunt indezirabile. În primul caz, un astfel de concept al negației slabe este unul care se subordonează legii dublei negații, legilor lui De Morgan și dualității cuantificatorilor. Ar însemna așadar să extindem validitatea acestor legi pentru orice formule ale IFL1. Dacă procedăm astfel, atunci negația tare (duală) se suprimă. În al doilea caz, dacă introducem negația printr-o regulă a jocului, ea ar coincide cu negația duală (când de fapt nu coincide). Mai mult chiar, negația slabă nu poate prefixa decât formule închise (enunțuri); pentru formule deschise ar fi necesară introducerea unei reguli a jocului pentru exemplificări prin substituție în raport cu acest gen de formule. Așadar, orice astfel de extensiune a IFL1 este ea însăși problematică.

Apoi, dacă logica este, prin excelență, o construcție deductiv-demonstrativă, atunci conceptul negației slabe este central pentru această construcție. În sensul că în combinație cu conectorii $\&$ și $\vee$ extinde puterea deductivă a logicii într-un cadru conceptual în care teorema deducției este validă. Ar corecta astfel o infirmitate deductivă a IFL1 neextinsă.

Numai că din nou, introducerea negației slabe are o consecință gravă în raport cu conceptul adevărului: IFL1 extinsă nu mai admite o definiție a adevărului formulată în limbajul însuși. În caz contrar ar fi valabilă următoarea echivalență metalingvistică:

$$5) A(g(\neg\varphi)) \text{ eq } nonA(g(\varphi)),$$

unde $g(\varphi)$, ca mai sus, denotă numărul Gödel al lui φ , iar non nu poate fi înlocuită cu $\neg$ deoarece $\neg$ nu poate prefixa o formulă deschisă. Printr-o generalizare universală a acestei echivalențe și printr-o translație în limbajul obiect un paradox se poate construi cu ușurință. Tot ceea ce trebuie făcut este construirea unui concept extins al adevărului, A^* , pentru limbajul IF1 corespunzător (extins), prin adăugarea la predicatul inițial al

adevărului a unei clauze valabile pentru orice numere Gödel, de următorul fel

$$6) x \text{ Neg } y \supset [\neg A(x) \equiv A(y)],$$

fundamentată de sensul clasic al conectorului echivalență. Și această relație este *exprimabilă* în limbajul considerat. Fie acum formula $\neg A^*(x)$. Prin diagonalizare obținem

$$7) g(\neg A^*(n)) = n,$$

un *enunț paradoxal*.

4.3 IFL1 are proprietăți remarcabile doar ca logică *redușă* la teoria clasică a cuantificării

Este IFL1 o logică de ordinul întâi ale cărei proprietăți remarcabile o fac alternativă la LO1? Să vedem cum stau lucrurile în raport cu proprietățile remarcabile ale LO1.

1. *Compacitatea IFL1*. Este o proprietate demonstrabilă prin reducerea formulelor IFL1 la formule ale LO1. Cum LO1 este compactă rezultă imediat că și IFL1 este compactă. Schițăm o astfel de demonstrație. Fie $\lambda_{1\varphi}$ o mulțime arbitrară de formule ale IFL1. Fie $\lambda_{2\varphi}$ o translație de ordinul doi a tuturor formulelor din $\lambda_{1\varphi}$. Fie $\lambda_{1\varphi}^*$ mulțimea de formule din LO1 obținută din $\lambda_{2\varphi}$ prin omiterea cuantificatorilor existențiali peste funcții. Din satisfiabilitatea oricăreia din mulțimile de formule $\lambda_{1\varphi}$, $\lambda_{2\varphi}$, $\lambda_{1\varphi}^*$ rezultă satisfiabilitatea celorlalte. $\lambda_{1\varphi}^*$ este consistentă eq orice submulțime a ei este consistentă eq submulțimea corespunzătoare ei din $\lambda_{1\varphi}$ este consistentă, iar această submulțime este consistentă prin ipoteză.

2. *Lema separării*, de asemenea, se bazează pe reducerea formulelor IFL1 la formule ale LO1. Este de fapt lema separării a LO1. Căci demonstrația presupune aceeași suită de transformări ca în demonstrația de compacitate. Respectiv, transformarea celor două mulțimi de formule ale IFL1, $\lambda_{1\varphi}^{k_1}$ și $\lambda_{1\varphi}^{k_2}$ în formule echivalente ale IFL2, $\lambda_{2\varphi}^{k_1}$ și $\lambda_{2\varphi}^{k_2}$, iar apoi în formulele

corespunzătoare din LO1, $\lambda_{1\varphi}^{*k_1}$ și $\lambda_{1\varphi}^{*k_2}$. Prin Lema separării există o formulă φ , numită *formulă de separare*, astfel că: $\lambda_{1\varphi}^{*k_1} \vdash \varphi$ și $\lambda_{1\varphi}^{*k_2} \vdash \neg\varphi$. A aserta că lema separării este valabilă într-o formă mai tare în IFL1 înseamnă *doar* a aserta că formulele IFL1 au o constituție mai tare în raport cu formulele LO1 și nicidecum că demonstrația (și deci validitatea acestei leme) ar implica o formulă de separare mai tare (căci $\varphi \in \text{LO1}$) sau procedee de demonstrație mai tari.³⁰

3. *Teorema definibilității* (Beth). Și demonstrația acestei teoremei pentru IFL1 se bazează pe rezultatul coresponzător din LO1 (m-formula ψ poate fi întotdeauna o formulă a LO1).

Mai mult chiar, *neomogenitatea conceptuală* a IFL1, prin corelarea definibilității cu conceptul adevărului din semantica jocurilor de limbaj și cu conceptul clasic al echivalenței, produce efecte indezirabile. Să luăm un exemplu. Fie rel. 2. din Th. definibilității, §2, abreviată ca

$$(i) \lambda_{\varphi} \models \forall x(Q(x) \equiv \psi)$$

prin care înțelegem, ca mai sus, λ_{φ} definește explicit Q prin formula $\psi \in \lambda_{\varphi}$, cu λ_{φ} , de data aceasta o mulțime de formule din IFL1, iar "≡" este echivalența materială. Fie acum (i) aplicată predicatului $A(x)$

$$(ii) \lambda_{\varphi} \models \forall x(Q(x) \equiv A(x))$$

Prin lema diagonalizării, fie acum n numărul Gödel al expresiei $\sim Q(n)$. Ce putem spune despre $\sim Q(n)$? Să presupunem că-i adevărat. În acest caz rezultă că el este fals (din ii). Simetric, tot pe baza (ii) din falsitatea lui rezultă adevărul.

³⁰O deosebire notabilă între IFL1 și LO1 există, ce-i drept. Deși formulele ambelor logici admit echivalențe de ordinul doi de forma Σ_1^1 , IFL1 admite și transformările converse pentru *orice* formule IFL2. Nu astfel stau lucrurile cu formulele LO2. (cf. Walkoe [1]) Din utilizarea notației *slash* rezultă nemijlocit că formulele ireductibile ale IFL sunt mai tari decât formulele LO1, căci independența cuantificatorilor (i.e. independența informațională) înseamnă utilizarea unui număr *mai mic* de argumente în funcțiile strategice și deci o strategie în jocul de limbaj bazată pe mai puțină informație.

Așadar, definițiile de genul (i) n-au aplicabilitate nerestricțivă.³¹

După spusele autorului³² comportarea negației duale în IFL1 ajută la eliminarea limitelor impuse de Gödel, Tarski și Lindström. Este adevărat, aceste limite sunt eliminate (mai curând evitate). Dar negația duală introduce alte *limite* prin nevaliditatea unor relații remarcabile cu consecințe în *relativizarea conceptelor*. Să vedem doar două dintre ele.

Prima privește *teoria definiției* în IFL1. *Stricto sensu*, relația (i) de mai sus nu este validă în IFL1 și deci *definiția explicită* a lui $Q(x)$ nu poate fi exprimată printr-un enunț de acest gen. Motivul îl reprezintă nevaliditatea terțului exclus pentru formulele IFL1 (terțul exclus este valabil doar pentru fragmentul LO1 al IFL1). Mai mult chiar, $Q(x)$ nu poate fi folosit în alte formule abreviate definițional decât cu riscul introducerii unor asumptii false în demonstrații. O soluție ar exista totuși: construcția unei IFL1 extinse în care predicatele și funcțiile admit definiții parțiale (care nu reclamă validitatea terțului exclus).³³

Probleme similare, care au ca sursă tot conceptul negației duale (corelativ, nevaliditatea terțului exclus), afectează și conceptul definibilității unei mulțimi cu ajutorul unei formule (și deci identificarea existenței unei astfel de entități cu reprezentabilitatea ei într-un limbaj adecvat).

În teoria standard a mulțimilor o echivalență de genul

$$(iii) \forall x (x \in M \equiv \varphi(x))$$

arată simplu că mulțimea M este captată de formula $\varphi(x) \in$ LO1. Ce se întâmplă însă dacă $\varphi(x)$ este o formulă cu notație slash a IFL1? Simplu spus, relația (iii) nu e valabilă, deoarece ea presupune *valabilitatea terțului exclus* pentru $\varphi(x)$, pentru

³¹contrar a ceea ce reclamă *azioma reductibilității* (Russell)

³²cf. Hintikka [2], 141

³³comp. Fenstad [1]

orice valoare a lui x .

În consecință, o mulțime nu mai coincide cu *extensiunea* unei formule a IFL1. Și astfel ideea existenței unei mulțimi în sensul Zermelo-Skolem își pierde valabilitatea.³⁴ Respectiv caracterul bine format al unei formule nu reprezintă o condiție suficientă pentru mulțimea corespunzătoare.

4. *Teorema Löwenheim-Skolem* I. Demonstrația de validitate a acestei teoreme în IFL1 se reduce, ca mai sus, la rezultatul corespunzător pentru fragmentul $\lambda_{1\varphi}^*$ al LO1.

Și exemplele ar putea continua.

Validitatea acestor rezultate pentru IFL1 este, *stricto sensu*, validitatea formulelor corespunzătoare din LO1. Reducerea formulelor IFL1, în demonstrații de validitate, se face, de fiecare dată, prin omiterea cuantificatorilor existențiale peste funcții și nu printr-o transformare echiveridică validă (care în cazul formulelor ireductibile nici nu se poate face).

Tot *stricto sensu* am putea conchide că în măsura în care IFL1 este o alternativă la teoria cuantificării (prin *extensiunea* propriu-zisă a LO1) ea n-are proprietățile remarcabile menționate; iar dacă are aceste proprietăți, atunci este logica uzuală de ordinul întâi.

4. *Nevaliditatea teoremei de completitudine în IFL1 separă radical conceptele teoriei modelelor de conceptele teoriei demonstrației.*

Să prezentăm pe scurt câteva rezultate privitoare la fenomenul indecidabilității în conexiune cu tema recursivității.³⁵

O mulțime M este *recursiv enumerabilă* eq $x \in M$ este exprimabil în forma $EyR(x, y)$, cu R (primitiv) recursiv.

³⁴După Zermelo [1], o mulțime este *extensiunea* unei "proprietăți definite". Corelativ introduce axioma separării (*Aussonderungsaxiom*): o proprietate definită separă o submulțime dintr-o mulțime deja dată. Conceptul lui Zermelo al proprietății definite conține imprecizii, eliminate ulterior de Weyl [1], Fraenkel [1], Skolem [1] și von Neumann [1].

³⁵comp. Kleene [1] §60

O mulțime M este *recursivă* eq atât M cât și $\omega - M$ (i.e. $\overline{M}$) sunt recursiv enumerabile.

O teorie T este *recursiv axiomatizabilă* eq există o teorie T^* care are aceleași teoreme ca și T , astfel că mulțimea $Ax(T^*)$ a numerelor Gödel ale axiomelor nonlogice ale lui T^* este recursivă.

Fie $\varphi(x)$ o formulă elementară cu singura variabilă liberă x . Fie $\delta(q)$ o funcție cu următoarea semnificație: dacă q este numărul Gödel al formulei $\varphi(x)$, atunci $\delta(q)$ este numărul Gödel al lui $\varphi(q)$. Altfel spus,

$$8) \delta(q) \text{ eq } q \int_p^{Num(q)}$$

respectiv $\delta(q)$ este numărul Gödel al formulei obținute prin *substituția* în formula cu numărul Gödel q a variabilei cu numărul Gödel p cu numărul Gödel al numeralului lui q .

Cum $\int$ este o funcție primitiv recursivă rezultă că $\delta(q)$ este o funcție primitiv recursivă.

Fie $Th(T)$ mulțimea numerelor Gödel ale teoremelor lui T . În acest caz: *dacă T este o teorie consistentă iar funcția $\delta(q)$ este reprezentabilă în T , atunci $Th(T)$ nu este exprimabilă în T* . Dacă adăugăm și rezultatul: *o relație numerică $R(x)$ este recursivă eq $R(x)$ este exprimabilă în T* , atunci obținem

*$Th(T)$ nu este recursivă.*³⁶

Ce stabilește prima teoremă de incompletitudine a lui Gödel ($ThG1$): *dacă T este o teorie consistentă, atunci T este recursiv indecidabilă*. Așadar, această teoremă se referă la incompletitudinea deductivă a teoriei T (e.g. aritmetica Peano), în sensul inexistenței unei enumerări recursive a tuturor enunțurilor aritmetice adevărate, într-o dezvoltare formală bazată pe o axiomatizare a LO1.

Ce relevanță au aceste rezultate în raport cu IFL1?

³⁶În acest caz teoria se numește *recursiv indecidabilă*. Pe baza tezei lui Church acest concept este echivalent *indecidabilității efective*.

Scurt spus: niciuna. Motivul este simplu: IFL1, că logica bazată pe conceptul adevărului din teoria jocurilor și pe nevaliditatea teoremei de completitudine deconstruiește corespondențele sintactic-semantic într-o structură *opacă* la organizarea deductiv-demonstrativă a logicii. Să arătăm acest lucru.

Incompletitudinea gödeliană privește o teorie *nonlogică* (i.e. aritmetica Peano) sub asumția *completitudinii* și a *consistenței* teoriei clasice a cunatificării. Pe când IFL1 este ea însăși, *ca logică, incompletă semantic*.³⁷ Ce implică acest lucru pentru o teorie *nonlogică* în care IFL1 este logica subiacentă? Din punct de vedere *deductiv* aceasta determină incompletitudinea teoriei. Însă sub aspectul conceptului adevărului din IFL1 incompletitudinea semantică a IFL1 nu împiedică în nici un fel obținerea *tuturor* enunțurilor adevărate ale teoriei pentru care IFL1 este logica subiacentă. Așadar, o astfel de teorie poate fi *incompletă deductiv*, dar *completă descriptiv*. Acest concept al completitudinii înseamnă obținerea *tuturor* adevărilor teoriei ca obținere a *tuturor modelelor* ei, demers independent de orice axiomatizare a logicii subiacente (și deci independent de ideea completitudinii deductive).

Dat fiind clivajul semantic-deductiv este de așteptat că diagonalizarea să nu genereze paradoxe în IFL. Validitatea lemei diagonalizării pentru limbaje aritmetice IF1 rezultă din posibilitatea reprezentării funcției diagonale $\delta(q)$ în astfel de limbaje. Putem construi așadar un enunț de de genul:

$$9) g(\sim A(k)) = k$$

unde k este numeralul lui k , iar $\sim$ este negația *duală* din IFL1. Ce soluție are IFL1 la asemenea construcție paradoxală? Pur și simplu niciuna, căci e vorba doar de o *evaziune* din para-

³⁷IFL1 nu admite o axiomatizare completă: nu există o mulțime finită sau recursivă de axiome din care să rezulte deductiv (i.e. ca teoreme) toate enunțurile valide.

doxal prin situarea enunțului $\sim A(k)$ în afara valențelor polare adevărat-fals, neexistând nici o strategie de verificare, nici una de falsificare. Predicatul adevărului, expus mai sus, 5), ca predicat de numere Gödel ale enunțurilor, satisface anumite condiții perfect compatibile cu sensul intuitiv al adevărului (cele specificate în clauzele corespunzătoare), predicat valabil pentru un limbaj IF1 care nu conține vreun alt predicat al adevărului. Așadar, orice autoreferire este, *ab initio*, exclusă. Posibilitatea evaziunii rezidă, în ultimă instanță, în conceptul negației *duale* (tari), care permite transcenderea dihotomiei negației clasice.

În fine, incompletitudinea *semantică* a IFL1 determină incompletitudinea *deductivă* a oricărei teorii pentru care IFL1 este logică subiacentă. Acesta este și motivul pentru care IFL1 nu generează paradoxe. Pe scurt, explicația este următoarea.

IFL1, deși semantic incompletă, posedă o procedură completă de demonstrație a *inconsistenței* unui enunț cu o teorie finit axiomatizată T , formulată într-un limbaj IF1. O astfel de procedură $P(\Delta_-)$ generează predicatul $\Delta_-(x)$, adevărat despre numărul Gödel k al unui enunț φ dacă și numai dacă pe baza lui T este demonstrabil $\neg\varphi$:

$$10) \Delta_-(k) \text{ eq } \vdash_T \neg\varphi,$$

unde k este numărul Gödel al lui φ , iar T este o teorie consistentă. Prin lema diagonalizării, aplicată formulei $\Delta_-(k)$ obținem

$$11) \Delta_-(k) = k$$

Este $\Delta_-(k)$ adevărată sau falsă? Presupunem că este adevărată. Atunci este o formulă a cărei *negație* este demonstrabilă în T . Cum $P(\Delta_-)$ este completă și produce numai enunțuri *false* în modelele lui T rezultă că $\Delta_-(k)$ este necesar falsă. Există deci o formulă

$$12) \neg\Delta_-(k)^{38}$$

³⁸Fiindcă $\Delta_-(k)$ este exprimabilă în LO1 cele două negații ($\sim$ și $\neg$) coincid.

adevărată. Și deci sub asumptia consistenței lui T negația formulei 12) (care este $\Delta_{-}(k)$) nu poate fi demonstrată prin $P(\Delta_{-})$ că este inconsistentă cu T . De unde incompletitudinea deductivă a lui T .

Este adevărul jocurilor de limbaj un concept constructivist?

Sursa *de facto* a filosofiei constructiviste, spuneam mai sus, o reprezintă opera târzie a lui Wittgenstein. Ideea jocurilor de limbaj a constituit însă un punct de plecare fertil pentru teoretizări foarte diferite. Constructivismul dummettian, de exemplu, se asociază cu antirealismul.³⁹ În schimb, o interpretare constructivistă a adevărului în sensul teoriei jocurilor semantice nu implică în mod necesar această opțiune filosofică. Dar nici nu rămâne inofensivă în raport cu definiția 5) a adevărului. Să vedem pe scurt acest lucru.

Conceptul central implicat în definiția adevărului este cel de strategie reușită. Aceasta poate fi reprezentată prin una sau mai multe funcții definite pe N cu valori în N . O expresie de genul $\forall x \exists y \varphi(x, y)$, al cărei adevăr însemnează, în translația de ordinul doi, $\exists f \forall x \varphi(x, f(x))$, arată existența unei funcții Skolem f , ca și condiție a adevărului primului enunț. Ce însemnează însă existența? În sens *constructivist* expresia $\forall x \exists y \varphi(x, y)$ este adevărată dacă și numai dacă pentru orice valoare dată a lui x valoarea lui y poate fi calculată efectiv (i.e. cu o mașină Turing). Aceasta însemnează, mai departe, că ansamblul acestor funcții (respectiv mulțimea strategiilor) trebuie să conțină *doar strategii recursive* (sensul Wittgenstein și Dummett). Ceea ce avem aici este însă o *mixtură* constructiv-neconstructiv. Pentru că echivalența dintre cele două enunțuri de mai sus este o formă

³⁹ comp. Dummett [1], [2] §1, 15

a *axiomei alegerii*,⁴⁰ un demers neconstructiv, pe când dimensiunea constructivă este reprezentată de cerința recursivității strategiei.⁴¹ Doar asumarea definițională a echivalenței este cea care face întregul demers constructiv.

Însă opțiunea pentru interpretarea constructivă a IFL1 are drept consecință nevalabilitatea conceptului adevărului în sensul definiției 5), concept care reclamă recursivitatea (ca valoare a cuantificării de ordinul doi $\exists A$), proprietate pe care predicatul constructiv al adevărului n-o posedă.

Alternativa o reprezintă adoptarea unei strategii nerecursive. Oricare dintre ele am alege-o, ea nu implică necesar în cadrul presupozitional al semanticii jocurilor, tezele filosofice ale antirealismului.⁴² Și aceasta deoarece, adevărul unui enunț φ al IFL1 într-un model dat depinde de constituția "ontologică" a modelului, respectiv, este un fapt combinatorial despre model și nu depinde de raportarea epistemică a jucătorului în cauză. Așadar, dacă un enunț este adevărat, acest lucru nu

⁴⁰Sensul adevărului din construcția lui Hintikka reclamă orice echivalență dintre un enunț de ordinul întâi și condiția adevărului lui (i.e. translația lui de ordinul doi). Spre deosebire de enunțurile de mai sus, unele echivalențe complexe implică existența funcțiilor nerecursive (cf. Kreisel [1], Mostowski [1]).

⁴¹Interpretarea nu este nouă, ea are ca precedent notabil Gödel [3], unde interpretarea unui enunț φ din LO1 într-unul LO2 înseamnă existența funcțiilor Skolem pentru φ . Studiul gödelian, chiar dacă inițial destinat unor aspecte tehnice (i.e. nonderivabilitatea expresiei $\neg \forall x(A(x) \vee \neg A(x))$) în CP1 intuționist) prezintă o relevanță filosofică incontestabilă. În extensiunea programului hilbertian partea reală (*inhaltlich*) a matematicii reclamă *concepte abstracte* (i.e. de ordinul doi) care nu conțin proprietăți sau relații dintre obiecte concrete, ci *construcții ale gândirii* (demonstrații, enunțuri cu sens), care nu rezultă din combinațiile de simboluri ci din *sensul* acestora ([3], 240).

⁴²Controversa realism-antirealism este o dispută foarte ramificată asupra unor regiuni *neomogene* ale discursului: științe empirice, matematică, logica modală, morală, etc. Mai mult, chiar în aceeași zonă a discursului fiecare concept are determinații diferite.

depinde dacă jocul semantic respectiv va fi vreodată jucat sau nu. Aceasta înseamnă că universalitatea jocurilor de limbaj nu "subiectivizează" în nici un fel sensul adevărului. Jocurile de limbaj al *adeveririi* enunțurilor noastre, relative la varii contexte, nu determină și nu pot în principiu determina sensul conceptului adevărului. Avem aici un concept realist (în forma lui tare) al adevărului? E greu de spus. Ar trebui mai întâi explicitat un concept al adevărului în sensul semanticii realiste. Dacă un asemenea concept conține ca ingredient necesar *bivalența* tuturor enunțurilor unui registru discursiv,⁴³ atunci răspunsul este negativ. Iar dacă prin realism vom înțelege teza *adevărului transcendent verificării*, atunci construcția mai sus discutată este una realistă.⁴⁴ Numai că un astfel de răspuns, la rândul său, generează controverse logico-filosofice foarte complexe cu privire la *existența* entităților matematice implicate în conceptul realist al adevărului din semantica teoriei jocurilor. Dacă comprehensiunea conceptelor aritmetice transcende oricărei descrieri sistematice a practicii aritmetice, așa cum consideră realismul matematic, atunci semnificația unei expresii transcendente folosirii ei.⁴⁵ În acest caz însă elaborarea unui concept

⁴³ acceptarea bivalenței privește strict vorbind propozițiile pentru care adevărul nu coincide cu adevărul *decidabil*

⁴⁴ Cele două determinații *nu* sunt echivalente. O propoziție matematică, de exemplu, care nu este efectiv decidabilă este una pentru care nu putem garanta existența unor procedee de verificare sau falsificare a ei. De aici nu putem deduce că *nu trebuie să existe* nici o posibilitate de verificare sau falsificare. Acceptarea bivalenței pentru această clasă de propoziții nu implică teza adevărului transcendent verificării.

⁴⁵ Teza wittgensteiniană a identității dintre semnificația unei expresii și utilizarea ei implică un anumit model al comprehensiunii semnificațiilor: a înțelege o propoziție înseamnă a stăpâni practicile *utilizării* ei în limbă (practici constituite prin jocuri de limbaj). Anti-realismul lui Wittgenstein însă ajunge în situația extremă în care exclude aritmeticii orice capacitate *descriptivă* (anti-descriptivism recuzat astăzi de majoritatea matematicienilor). [comp. Wittgenstein [2], Anhang]

al adevărului, compatibil cu semantica jocurilor de limbaj în sensul wittgensteinian, nu se mai poate face fără introducerea explicită a unor asumptii suplimentare.

REFERINȚE

1. van Benthem, J.; A. Meulen (eds.), [1] *Handbook of Logic and Language*, Amsterdam 1996.
2. Beth, E., [1] *The Foundations of Mathematics*, North Holland, 1959.
3. Craig, W., [1] Linear Reasoning. A New Form of the Herbrand-Gentzen theorem, *The Journal of Symbolic Logic* 22/1957, 250-268.
4. Dummett, M., [1] *Truth and Other Enigmas*, London, Duckworth, 1978.
[2] *The Logical Basis of Metaphysics*, Duckworth, 1991.
5. Ebbinghaus, H-D.; Flum, J.; Thomas, W., [1] *Mathematical Logic*, Sec. ed. Springer, 1994.
6. Enderton, H.B., [1] Finite Partially Ordered Quantifiers, *Zeitschrift für mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik* 16/1970, 393-397.
7. Fraenkel, A.A., [1] Der Begriff "definit" und die Unabhängigkeit des Auswahlaxioms, *Sitzungsberichte der Preuss. Akad. der Wiss.*, 253-257; în engl. in J.v. Heijenoort [1], 284-289.
8. Fenstad, J.E., [1] Partiality, in van Benthem și A. Meulen [1].

9. Gentzen, G., [1] Untersuchungen über das logische Schliessen, *Mathematische Zeitschrift*, 39/1934, 176-210; 405-431.
10. Gödel, K., [1] Die Vollständigkeit der Axiome des logischen Funktionenkalküls, *Monatshefte für Math. und Physik*, 37/1930, 349-360; in engl. in J.v. Heijenoort [1], 582-591.
 - [2] Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I, *Monatshefte für Math. und Physik*, 38/1931, 173-198; in engl. in J.v. Heijenoort [1], 596-616.
 - [3] Über eine bisher noch nicht benützte Erweiterung des finiten Standpunktes, *Dialectica*, 12/1958, 280-287; in engl. in Gödel, *Collected Works*, 2. Oxford U.P., 241-251.
11. v. Heijenoort, J., [1] *From Frege to Gödel*, Harvard U.P., 1967.
12. Henkin, L., [1] The Completeness of the First-Order Functional Calculus, *Journal of Symbolic Logic*, 14/1949.
 - [2] Some Remarks on Infinitely Long Formulas, in *Infinitistic Methods*, Pergamon Press, Oxford 1961, 167-183.
13. Heyting, A., [1] *Intuitionism. An Introduction*, North-Holland P.C., Amsterdam, 1961.
14. Hintikka, J., [1] What Is Elementary Logic? Independence-Friendly Logic as the True Core of Logic, in K. Gavroglu (ed.) *Physics, Philosophy and Scientific Community*, Kluwer Ac., Dordrecht, 1995, 301-326.

- [2] *The Principles of Mathematics Revisited*, Cambridge U.P., 1996.
15. Hintikka, J., Kulas, J., [1] *The Game of Language*, D. Reidel, Dordrecht, 1983.
 16. Kleene, S.C., [1] *Introduction to Metamathematics*, North-Holland P.Co., Amsterdam, 1952.
 - [2] *Mathematical Logic*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1966.
 17. Kreisel, G., [1] A Note on Arithmetic Models for Consistent Formulae of the Predicate Calculus II, in *Proceeding of the XI International Congress of Philosophy*, 14/1953, Amsterdam & Louvain, 37-47.
 18. Lindström, P., [1] On Extensions of Elementary Logic, *Theoria*, 35/1969.
 19. Mostowski, A., [1] A Formula with no Recursively Enumerable Model, *Fundamenta Mathematicae*, 42/1955, 125-140.
 20. van Neumann, J., [1] Eine Axiomatisierung der Mengenlehre, *Journal für reine und angew. Mathematik*, 154/1925, 219-240; in engl. in J.v. Heijenoort [1], 34-56.
 21. Scholz, H.; Hasenjaeger, G., [1] *Grundzüge der mathematischen Logik*, Springer-Verlag, Berlin, 1961.
 22. Skolem, T., [1] Einige Bemerkungen zur axiomatischen Begründung der Mengenlehre, *Mathematikerkongressen i Helsingfors den 4-7 Juli 1922*; in engl. in J.v. Heijenoort [1], 290-301.

- [2] Über die Nicht-charakterisierbarkeit der Zahlenreihe mittels endlich oder abzählbar unendlich vieler Aussagen mit ausschliesslich Zahlenvariablen. *Fundamenta Mathematicae* 23/1934, 150-161.
23. Smullyan, R., [1] *First-Order Logic*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1968.
24. Tarski, A., [1] The Concept of Truth in Formalized Languages, in vol. Tarski, *Logic, Semantics, Metamathematics*, Clarendon Press, Oxford, 1956, 152-278.
25. Vaught, R.L., [1] Applications of the Löwenheim-Skolem-Tarski theorem to problems of completeness and decidability, *Indag. Math.* 16/1954, 467-472.
26. Walkoe, W. Jr., [1] Finite Partially Ordered Quantification, *The Journal of Symbolic Logic*, 35/1970, 538-555.
27. Weyl, H., [1] *Das Kontinuum. Kritische Untersuchungen über die Grundlagen der Analysis*, Veit, Leipzig, 1918.
- [2] Mathematics and Logic. A brief survey serving as a preface to a review of "The Philosophy of Bertrand Russell". *American Mathematical Monthly*, 53/1946.
28. Wittgenstein, L., [1] *Philosophische Untersuchungen*, Oxford, Blackwell, 1953.
- [2] *Bemerkungen über die Grundlagen der Mathematik*, Werkausgabe Bd. 6, Suhrkamp, 1984.
29. Zermelo, E., [1] Untersuchungen über die Grundlagen der Mengenlehre I, *Mathematische Annalen*, 65/1908, 261-281; in engl. in J.v. Heijenoort [1], 199-215.

Cuprins

<u>Complexitate și haos</u> – considerații introductive (<i>Marcel Bodea</i>)..	5
Determinism, predicabilitate, complexitate: cazul haosului determinist (<i>Mircea Flonta</i>).....	19
<u>Complexitatea structurală a teoriilor științifice</u> (<i>Ilie Parvu</i>)	57
Logica propozițiilor indexate (<i>Adrian Miroiu</i>)	82
<u>Complexitatea și mereologia temporală</u> (<i>Ioan-Lucian Muntean</i>)....	101
<u>Complexitate, cunoaștere și instituții</u> (<i>Mihail Radu Solcan</i>).....	123
Discurs și emergență sau o ipoteză dialogică a discursului (<i>Romulus Brâncoveanu</i>)	150
Niveluri de organizare și entități complexe: genurile naturale și problema speciilor (<i>Laureanțiu Staicu</i>)	188
Haos, determinism și modelare matematică – considerații epistemologice pe marginea geometriei fractale (<i>Marcel Bodea</i>).....	211
<u>Complexitatea problematică a IF logics</u> (<i>Virgil Drăghici</i>)	273

B.C.U. „M. EMINESCU” IAȘI

63.000 lei



ISBN 973-686-272-0